



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

MASTERARBEIT

Entwicklung einer auf Kennzahlen gestützten
risikoorientierten Bewertungsmethode zur
Rehabilitationsplanung des Verteilungssystems der FWF

Vorgelegt im Dezember 2016 von

Maurice Julian Matthé

In Kooperation mit dem Zweckverband Fernwasserversorgung Franken

| | |
|-------------------------|--|
| <i>Titel der Arbeit</i> | Entwicklung einer auf Kennzahlen gestützten risikoorientierten Bewertungsmethode zur Rehabilitationsplanung des Verteilungssystems der FWF |
| <i>Vorgelegt von</i> | Maurice Julian Matthé |
| <i>Matrikelnummer</i> | 2546274 |
| <i>Kontakt</i> | Rosenweg 34 D-74722 Buchen |
| <i>E-Mail</i> | maurice.hzweio@gmail.com |
| <i>Studiengang</i> | Umweltingenieurwissenschaften |
| <i>Universität</i> | Technische Universität Darmstadt |
| <i>Ort, Datum</i> | Darmstadt, 20. Dezember 2016 |

| | |
|-------------------|---|
| <i>Prüfer</i> | Prof. Dipl. - Ing. Dr. nat. techn. Wilhelm Urban |
| <i>Institut</i> | IWAR – TU Darmstadt |
| <i>Fachgebiet</i> | Wasserversorgung und Grundwasserschutz |
| <i>Kontakt</i> | Franziska-Braun-Str. 7 D-64287 Darmstadt |

| | |
|-----------------|---|
| <i>Betreuer</i> | M. Sc. Hermann Löhner |
| <i>Funktion</i> | Werkleitung Zweckverband Fernwasserversorgung Franken |
| <i>Kontakt</i> | Fernwasserstraße 2 D-97215 Uffenheim |

| | |
|-------------------|---|
| <i>Betreuerin</i> | M. Sc. Jessica Beck |
| <i>Institut</i> | IWAR - TU Darmstadt |
| <i>Fachgebiet</i> | Wasserversorgung und Grundwasserschutz |
| <i>Kontakt</i> | Franziska-Braun-Str. 7 D-64287 Darmstadt |

KURZFASSUNG

Zur Sicherstellung der hochwertigen und störungsfreien Trinkwasserversorgung auch für zukünftige Generationen sind Wasserversorgungsunternehmen dazu aufgefordert, den technisch guten Zustand der Versorgungssysteme aufrecht zu erhalten. Um dieser Aufgabe und den zunehmend komplexer werdenden Anforderungen in der Wasserwirtschaft gerecht zu werden, erstellt die Fernwasserversorgung Franken (FWF) die „FWF-Studie 2040“ zur Instandhaltungs- und Investitionsplanung der nächsten 20 Jahre. In diesem Rahmen soll ebenso der zukünftige Rehabilitationsbedarf im über 1.000 Kilometer langen Rohrleitungssystem ermittelt und in eine optimierte Planung eingegliedert werden.

In Anlehnung an diesen Teil der Studie ist es das Ziel dieser Masterarbeit, eine Bewertungsmethode zur Ermittlung und Priorisierung des Rehabilitationsbedarfs zu entwickeln. Für die Bewertung des aktuellen Zustands und dessen örtliche Differenzierung, wird ein unternehmensinterner Kennzahlenvergleich der neun Versorgungsbereiche mit ausgewählten Kennzahlen und Strukturmerkmalen durchgeführt. Der zweite Teil zur Beurteilung des technischen Zustands erfolgt über eine GIS-gestützte Risikobewertung des Rohrleitungssystems. Hierzu werden Bewertungskriterien zur Eintrittswahrscheinlichkeit von Rohrleitungsschäden sowie dem damit verbundenen Schadensausmaß ausgewählt, definiert und angewandt.

Der auf diesen zwei Ebenen angelegte Bewertungsansatz ermöglicht die Berücksichtigung unternehmensinterner und -externer Einfluss- und Planungsfaktoren. Zukünftige Entwicklungen werden außerdem in Form einer Wasserbedarfsprognose berücksichtigt, die ebenfalls einen Teil dieser Arbeit darstellt.

Über die Auswertung des Kennzahlenvergleichs, der Wassermengenbilanz sowie der Wasserbedarfsprognose werden Wirkungsmechanismen sichtbar gemacht und Versorgungsbereiche identifiziert, in denen ein erhöhter Rehabilitationsbedarf zu erwarten ist. Mit Hilfe der GIS-gestützten Risikobewertung erfolgt eine Konkretisierung des Rehabilitationsbedarfs auf Ebene der Leitungsabschnitte. Abschließend werden die Ergebnisse durch einen Abgleich verifiziert.

Die aggregierten Ergebnisse aus der Risikobewertung werden in Kombination mit den Kennzahlenergebnissen auf Ebene der Versorgungsbereiche zur Festlegung einer priorisierten, mittelfristigen Erneuerungsplanung der Rohrleitungen herangezogen. Auf Basis der Ergebnisse und der unternehmensspezifischen, strategischen Reha-Rate wird der Rehabilitationsbedarf je Versorgungsbereich quantifiziert.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass die oben beschriebene Methode eine zusätzliche Dimension der Bewertung für die Rehabilitationsplanung ermöglicht. Die Ergebnisse können somit als Grundlage für die weitere Planung in die FWF-Studie 2040 integriert werden.

ABSTRACT

In securing high quality and smooth supply of drinking water today and for future generations, water utilities are challenged with maintaining excellent technical conditions of the water supply system. To face this task and the increasingly complex demands of water management, the Fernwasserversorgung Franken (FWF) is preparing the so called “FWF-Studie 2040”. The FWF 2040 study is a maintenance and investment plan for the next 20 years. The water distribution system, with its more than 1,000 kilometers, is one important component for a frictionless water supply. Therefore, its future rehabilitation needs, need to be identified and considered in an optimized strategy.

With regard to this part of the study, the core objective of this master thesis is the development of an evaluation method to determine and prioritize rehabilitation needs in the pipe system.

To asses current conditions, an internal comparison of the service areas’ performance indicators is done. The technical conditions of the pipe system are evaluated using a GIS-based risk assessment. For this purpose, suitable assessment criteria to determine likelihood and potential impact of pipeline damages are chosen, properly defined and applied in the risk assessment.

This two-level evaluation approach allows considering both internal and external key factors. Another major part of this thesis is a forecast for the future water demand. The results are also factored into the rehabilitation planning, to account for future developments.

The results of the three above described steps allow identifying areas with high rehabilitations needs. The GIS-based risk assessment then helps to concretize the overall result. Furthermore, a comparison of both allows a verification of the results.

Through the combination of the risk assessment and the analysis of the relevant performance indicators, a prioritized, medium-term plan for pipe renewals is established. On the basis of the results from this analysis, and reliant on the company specific, strategic rehabilitation rate, the individual improvement needs for all service areas are quantified.

The study shows that this method provides another dimension of evaluation for the rehabilitation planning. Consequently, the results and analysis data can be used and included in the FWF 2040 study.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----|
| Kurzfassung..... | I |
| Abstract..... | II |
| Inhaltsverzeichnis | III |
| Abkürzungsverzeichnis..... | V |
| Abbildungsverzeichnis | VII |
| Tabellenverzeichnis..... | X |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Zielsetzung der Arbeit | 2 |
| 1.2 Struktur der Arbeit | 3 |
| 2 Instandhaltung und Rehabilitation..... | 4 |
| 2.1 Instandhaltungsstrategien..... | 4 |
| 2.2 Komponenten der Rehabilitation | 5 |
| 3 Kennzahlen und Benchmarking in der Wasserwirtschaft | 8 |
| 3.1 Beispiel Landesbenchmarking in Bayern „EffWB“ | 10 |
| 3.2 Aufbau der Kennzahlensysteme in der Wasserwirtschaft | 12 |
| 4 Fernwasserversorgung Franken – Eingliederung und Struktur | 16 |
| 4.1 Entstehung der FWF..... | 16 |
| 4.2 Nordbayerisches Ausgleichs- und Verbundsystem..... | 17 |
| 4.3 Versorgungstechnische Struktur und Gliederung des FWF Gebiets | 19 |
| 4.3.1 Versorgungsbereich Volkach | 21 |
| 4.3.2 Versorgungsbereich Sulzfeld | 22 |
| 4.3.3 Versorgungsbereich Uehlfeld | 23 |
| 4.3.4 Versorgungsbereich Hüttendorf..... | 23 |
| 4.3.5 Versorgungsbereich Elpersdorf..... | 24 |
| 4.3.6 Versorgungsbereich Haslach | 24 |
| 4.3.7 Versorgungsbereich Matzmannsdorf | 25 |
| 4.3.8 Versorgungsbereich Arberg | 25 |
| 4.3.9 Versorgungsbereich Schopflohe..... | 26 |
| 4.4 Entwicklung der FWF - Studie 2040..... | 26 |
| 5 Methodik..... | 28 |
| 5.1 Bewertungsmethode zur Reha-Planung des Leitungssystems | 28 |
| 5.2 Berechnung der Wassermengenbilanz..... | 29 |

| | | |
|-------|---|-------|
| 5.3 | Berechnung der Wasserbedarfsprognose..... | 34 |
| 5.4 | Kennzahlen und Strukturmerkmale..... | 40 |
| 5.4.1 | Strukturmerkmale..... | 41 |
| 5.4.2 | Hauptkennzahlensystem..... | 42 |
| 5.4.3 | Auswahl relevanter Kennzahlen und Strukturmerkmale..... | 44 |
| 5.4.4 | Berechnung der ausgewählten Strukturmerkmale..... | 45 |
| 5.4.5 | Berechnung der ausgewählten Kennzahlen..... | 49 |
| 5.4.6 | Auswertung der Kennzahlen..... | 54 |
| 5.5 | Risikoanalyse des Rohrleitungssystems..... | 56 |
| 5.5.1 | Auswahl von Kriterien..... | 57 |
| 5.5.2 | Gliederung des Rohrleitungssystems..... | 59 |
| 5.5.3 | Schadensstatistik..... | 79 |
| 5.5.4 | Definition und Anwendung der Kriterien zur Risikoanalyse..... | 89 |
| 6 | Ergebnisse..... | 101 |
| 6.1 | Wassermengenbilanz..... | 101 |
| 6.2 | Wasserbedarfsprognose 2040..... | 105 |
| 6.3 | Kennzahlenvergleich der Versorgungsbereiche..... | 107 |
| 6.3.1 | Anwendung und Eignung der Kennzahlen..... | 107 |
| 6.3.2 | Vergleich mit externen Kennzahlen..... | 111 |
| 6.3.3 | Kennzahlenauswertung der Versorgungsbereiche..... | 112 |
| 6.4 | Risikobewertung..... | 116 |
| 6.4.1 | Anwendung der Risikoanalyse..... | 116 |
| 6.4.2 | Auswertung der Versorgungsbereiche..... | 117 |
| 6.4.3 | Auswertung als Mengengerüst..... | 119 |
| 6.5 | Rehabilitationsplanung..... | 120 |
| 7 | Fazit..... | 122 |
| | Literaturverzeichnis..... | i |
| | Anhang A Ergebnisse der Wassermengenbilanz..... | v |
| | Anhang B Ergebnisse der Wasserbedarfsprognose..... | x |
| | Anhang C Ergebnisse des Kennzahlenvergleichs..... | x |
| | Anhang D Ergebnisse der Risikobewertung..... | xi |
| | Danksagung..... | xxii |
| | Ehrenwörtliche Erklärung und Sperrvermerk..... | xxiii |

 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|-----------|--|
| a.R.d.T. | anerkannte Regeln der Technik |
| AGS | Abgabestelle/ Abgabeschacht |
| ALU | Aluminium |
| BMWi | Bundesministerium für Wirtschaft und Energie |
| BOH | Betriebs- und Organisationshandbuch |
| BRW | Bayerische Rieswasserversorgung |
| bzw. | Beziehungsweise |
| ca. | Circa |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DN | Nennweite, Durchmesser, Querschnitt |
| DV | Direktversorgung |
| DVGW | Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. |
| EffWB | Effizienz- und Qualitätsuntersuchung der kommunalen Wasserversorgung in Bayern |
| EN | Europäische Norm |
| FV | Fernversorgung |
| FWF | Fernwasserversorgung Franken |
| FWM | Fernwasserversorgung Mittelfranken |
| FWVU | Fernwasserversorgungsunternehmen |
| FZ | Faserzement |
| GefStoffV | Gefahrenstoffverordnung |
| GG | Grauguss |
| ggf. | gegebenenfalls |
| GGG | Duktiler / Globularer Grauguss |
| GIS | Geoinformationssystem |
| GJS | Guss iron sphärisch (entspricht GGG) |
| GW | Grundwasser |
| HB | Hochbehälter |
| i.B. | in Betrieb |
| i.d.R. | in der Regel |
| IDM | Induktive Durchfluss Messer |
| IWA | International Water Association |

| | |
|----------------|--|
| IWW | Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung |
| KKG | Kalkkohlen säuregleichgewicht |
| KKS | Kathodischer Korrosionsschutz |
| km | Kilometer |
| LfU | Landesamt für Umwelt |
| LfW | Landesamt für Wasserwirtschaft |
| m | Meter |
| m ² | Kubikmeter |
| Mio. | Millionen |
| PE | Polyehtylen |
| PN | Pressure Nominal (Nenndruck) |
| PVC | Polyvinylchlorid |
| RK* | Reka-Kuppplung *und Varianten (RKU, RKR, RKA, RKL, TK) |
| ST, St | Stahl |
| TrinkwV. | Trinkwasserverordnung |
| TSM | Technisches Sicherheitsmanagement |
| TW | Trinkwasser |
| TZW | Technologiezentrum Wasser |
| VA | Edelstahl |
| VB | Versorgungsbereich |
| VBEW | Verband der Bayerischen Energie und Wasserwirtschaft |
| VBGW | Verband der Bayerischen Gas- und Wasserwirtschaft |
| VZ | Versorgungszone |
| WFW | Wasserversorgung fränkischer Wirtschaftsraum |
| WHG | Wasserhaushaltsgesetz |
| WVU | Wasserversorgungsunternehmen |
| WW | Wasserwerk |
| z.B. | zum Beispiel |
| ZM | Zementmörtel (i.d.R. Innenauskleidung) |
| ZMU | Zementmörtel-Umhüllung |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Instandhaltung (Eigene Darstellung nach DVGW W 400-3, 09/2006, S. 27) | 5 |
| Abbildung 2: Teilprozesse der Reha (Eigene Darstellung nach DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 9).6 | |
| Abbildung 3: Netzbewertung innerhalb der Reha-Planung (DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 19).... | 7 |
| Abbildung 4: Beispiel Reha-Rate (mittlere jährliche und 10-Jahresmittelwert der Erneuerungsrate) EffWB 2013 (RÖDL & PARTNER, 2013, S. 39)..... | 11 |
| Abbildung 5: Ergebnisverwendung für die WVU (RÖDL & PARTNER, 2013, S. 54) | 11 |
| Abbildung 6: Kennzahlensystem der deutschen Wasserversorgung (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 5) | 14 |
| Abbildung 7: Nordbayerisches Ausgleichs- und Verbundsystem – Vergleich Dargebot mit Bedarf im Jahr 2003 (LFU-SCHULTHEISS, 2012, S. 28) | 18 |
| Abbildung 8: Betrachtungs- und Analyseebenen (Eigene Darstellung)..... | 28 |
| Abbildung 9: Ebenen der Ergebnisdarstellung (Eigene Darstellung)..... | 29 |
| Abbildung 10: Schema der Wasserbilanz (DVGW W 392 (A), 12/2015, S. 9)..... | 32 |
| Abbildung 11: Größen der Wasserbilanz (DVGW W 392 (A), 12/2015, S. 8) | 33 |
| Abbildung 12: Verortung von AGS zu Gemeinde & VB (Eigene Darstellung)..... | 36 |
| Abbildung 13: Einwohner bezogener Spitzenfaktor zur Berechnung des Tagesspitzenbedarfs (REGIERUNG UNTERFRANKEN, 2010, S. 19)..... | 39 |
| Abbildung 14: Beispiel: Auswertung Kennzahlen im Spinnendiagramm (Eigene Darstellung).... | 55 |
| Abbildung 15: Grundprinzip Risikoanalyse (Eigene Darstellung)..... | 56 |
| Abbildung 16: Plausibilitätsmatrix Schadensursache und -art (SORGE ET AL., 2012, S. 127) | 57 |
| Abbildung 17: Beispiel Wasserverteilungssystem (DVGW W 400-1 (A), 02/2015, S. 19) | 61 |
| Abbildung 18: Schema GIS-Datenbestand (Eigene Darstellung) | 62 |
| Abbildung 19: Längsbiegung duktiler Gussrohre (SAINT-GOBAIN, 2007, S. 11) | 64 |
| Abbildung 20: Gussrohr-Verbindungen (li.: Muffe, mi.: Tyton-Sit-Plus, re.: Flansch) (DUKTUS, 2014, S. 48 ff)..... | 69 |
| Abbildung 21: Beispiele Mauerdurchführungen (li.: Mit Schrumpfmanschette, Mitte: Noch ohne Manschette, re.: Innen mit Flansch) (Eigene Aufnahmen 2016)..... | 69 |
| Abbildung 22: Detail – Mauerdurchführung (FWF, 2016) | 70 |
| Abbildung 23: AZ-Rohrverbindung I (links: RK, rechts: RKL) (Eternit, 1974, S. 58–61)..... | 70 |
| Abbildung 24: AZ-Rohrverbindung II (links: RKR, rechts: RKA) (Eternit, 1974, S. 62–64)..... | 71 |
| Abbildung 25: AZ-Rohrverbindung III (links: RKU, rechts: FK) (Eternit, 1974, S. 63–67) | 71 |
| Abbildung 26: Aktueller Leitungsbestand nach Werkstoffen und Baujahr (Eigene Darstellung) | 77 |
| Abbildung 27: Leitungslängen nach Werkstoffgruppen (Eigene Darstellung) | 77 |

| | |
|--|------|
| Abbildung 28: Vergleich der Schadensraten (Eigene Darstellung)..... | 81 |
| Abbildung 29: Technische Nutzungsdauer nach Werkstoffgruppen (DUKTUS, 2014, S. 40) | 83 |
| Abbildung 30: Bestandsentwicklung Längen und Werkstoffgruppe (Eigene Darstellung)..... | 84 |
| Abbildung 31: Alters- und werkstoffspezifische Schadensrate (Gl. 2) (Eigene Darstellung) | 85 |
| Abbildung 32: Altersabhängige Schadensrate GG 3a (Eigene Darstellung) | 86 |
| Abbildung 33: Altersabhängige Schadensrate GG 3b (Eigene Darstellung)..... | 86 |
| Abbildung 34: Altersabhängige Schadensrate GGG 2 (Eigene Darstellung)..... | 87 |
| Abbildung 35: Altersabhängige Schadensrate AZ (Eigene Darstellung)..... | 88 |
| Abbildung 36: Altersabhängige Schadensrate ST (Eigene Darstellung)..... | 88 |
| Abbildung 37: Beispiel: baulosspezifische Schadensrate (Eigene Darstellung)..... | 92 |
| Abbildung 38: Größenklassen Abgabemengen in Prozent und Anzahl AGS (Eigene Darstellung)..... | 93 |
| Abbildung 39: Zuordnung Abgabemenge zu den Leitungen (Eigene Darstellung) | 94 |
| Abbildung 40: Beispiel-Auswertung der Verbundleitungen (Eigene Darstellung)..... | 95 |
| Abbildung 41: Beispiel verschiedener Schutzstreifenbreiten (Eigene Darstellung) | 97 |
| Abbildung 42: Verschneidung von Schutzstreifen und Gebäudeflächen (Eigene Darstellung) | 98 |
| Abbildung 43: Wassermengenbilanz Verbandsgebiet FWF (Eigene Darstellung) | 102 |
| Abbildung 44: Wasserbilanz 2015 Verbandsgebiet FWF - Sanky-Diagramm (Eigene Darstellung)..... | 103 |
| Abbildung 45: Abhängigkeit der Schadensrate zum mittleren Alter (Eigene Darstellung)..... | 110 |
| Abbildung 46: Kennzahl Schadensrate pro mittlerem Alter (Eigene Darstellung) | 110 |
| Abbildung 47: Wassermengenbilanz Verbandsgebiet FWF (Eigene Darstellung) | v |
| Abbildung 48: Wassermengenbilanz VB Volkach (Eigene Darstellung)..... | v |
| Abbildung 49: Wassermengenbilanz VB Sulzfeld (Eigene Darstellung) | vi |
| Abbildung 50: Wassermengenbilanz VB Uehlfeld (Eigene Darstellung) | vi |
| Abbildung 51: Wassermengenbilanz VB Hüttendorf (Eigene Darstellung) | vii |
| Abbildung 52: Wassermengenbilanz VB Elpersdorf (Eigene Darstellung) | vii |
| Abbildung 53: Wassermengenbilanz VB Haslach (Eigene Darstellung) | viii |
| Abbildung 54: Wassermengenbilanz VB Matzmannsdorf (Eigene Darstellung)..... | viii |
| Abbildung 55: Wassermengenbilanz VB Arberg (Eigene Darstellung)..... | ix |
| Abbildung 56: Wassermengenbilanz VB Schopflohe (Eigene Darstellung) | ix |
| Abbildung 57: Risikobewertung Verbandsgebiet FWF (Eigene Darstellung) | xi |
| Abbildung 58: Risikobewertung VB Volkach (Eigene Darstellung)..... | xii |
| Abbildung 59: Risikobewertung VB Sulzfeld (Eigene Darstellung)..... | xiii |
| Abbildung 60: Risikobewertung VB Uehlfeld (Eigene Darstellung)..... | xiv |

| | |
|---|-------|
| Abbildung 61: Risikobewertung VB Hüttendorf (Eigene Darstellung) | xv |
| Abbildung 62: Risikobewertung VB Elpersdorf (Eigene Darstellung) | xvi |
| Abbildung 63: Risikobewertung VB Haslach (Eigene Darstellung) | xvii |
| Abbildung 64: Risikobewertung VB Matzmannsdorf (Eigene Darstellung) | xviii |
| Abbildung 65: Risikobewertung VB Arberg (Eigene Darstellung)..... | xix |
| Abbildung 66: Risikobewertung VB Schopflohe (Eigene Darstellung) | xx |

TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|--|-----|
| Tabelle 1: Benchmarking-Arten (Eigene Darstellung nach LÖHNER, 2003, S. 104)..... | 9 |
| Tabelle 2: Bereiche und -zonen der FWF (Eigene Darstellung nach BOH-FWF et al., 2015) | 19 |
| Tabelle 3: Parameter der Wassermengenbilanz (Kürzel vgl. Abbildung 11) | 30 |
| Tabelle 4: Frage B 1: Umfrage der Studie 2040 (FWF-Kundenumfrage, 2015) | 35 |
| Tabelle 5: Klassifizierung der Abgabemengen je Gemeinde (Eigene Darstellung) | 40 |
| Tabelle 6: Strukturmerkmale der Wasserversorgung (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016, S. 10) | 41 |
| Tabelle 7: Auswahl Kennzahlen und Strukturmerkmale (Eigene Darstellung) | 45 |
| Tabelle 8: Altersklassen zur Bestimmung des Durchschnittsalters (Eigene Darstellung)..... | 46 |
| Tabelle 9: Bewertung der spezifischen realen Wasserverluste (Eigene Darstellung nach DVGW W 400-3-B1 (A), 08/2015, S. 11) | 52 |
| Tabelle 10: Bezeichnung der Rohrmaterialien (Eigene Darstellung nach MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 589; DIN EN 1560, 05/2011) | 63 |
| Tabelle 11: Polyethylen-Typen (Eigene Darstellung nach KRV, 2016) | 67 |
| Tabelle 12: Entwicklung der Gussrohrherstellung (ROSCHER ET AL., 2015, S. 79)..... | 75 |
| Tabelle 13: Werkstoffspezifische Generation (Eigene Darstellung nach DVGW W 402 (A), 09/2010; SORGE ET AL., 2012; ROSCHER ET AL., 2015) | 75 |
| Tabelle 14: Werkstoffspezifische Generation der FWF, Verlegezeiten (Eigene Darstellung) | 76 |
| Tabelle 15: Einordnung der Böden nach den Hauptgruppen (DIN 50929 Teil B) | 78 |
| Tabelle 16: Bereiche der Schadensraten (Eigene Darstellung nach DVGW W 400-3, 09/2006)... | 80 |
| Tabelle 17: Bewertungsmaßstab Werkstoffe (Eigene Darstellung)..... | 89 |
| Tabelle 18: Bewertungsmaßstab Korrosionsschutz (Eigene Darstellung) | 90 |
| Tabelle 19: Bewertungsmaßstab Werkstoffgruppe (Eigene Darstellung) | 90 |
| Tabelle 20: Bewertung der Altersbereiche (Eigene Darstellung)..... | 91 |
| Tabelle 21: Einteilung und Werte der Schadensrate für die Bauabschnitte (Eigene Darstellung) | 91 |
| Tabelle 22: Einteilung der Abgabemenge in Kategorien (Eigene Darstellung) | 93 |
| Tabelle 23: Bewertung zur Redundanz - Ersatzversorgung (Eigene Darstellung) | 94 |
| Tabelle 24: Bewertung Verbundleitung (Eigene Darstellung) | 95 |
| Tabelle 25: Schutzstreifen von Rohrleitungen (Nach DVGW W 400-1 (A), 02/2015, S. 35) | 96 |
| Tabelle 26: Bewertungsmaßstab Schutzstreifen Einhaltung (Eigene Darstellung)..... | 97 |
| Tabelle 27: Bewertung Nennweitenfaktor (Eigene Darstellung) | 98 |
| Tabelle 28: Ausschnitt Mengengerüst der Risikoanalyse – Baulose, Querschnitt und VB | 119 |
| Tabelle 29: Risikobewertung - Mengengerüst für Versorgungsbereiche..... | xxi |
| Tabelle 30: Auszug Risikobewertung - Auswertung nach Risiko, Querschnitt und Werkstoff | xxi |

1 EINLEITUNG

„Wie kommen 25 Millionen Menschen zurecht, wenn sie sechs Tage lang komplett auf dem Trockenen sitzen? In Mexiko-Stadt war fast eine Woche lang das Wasser abgestellt, damit das marode Leitungsnetz generalüberholt und alte Pumpstationen modernisiert werden konnten. Eine Zeit, in der [...] Tankwagen Notrationen verteilten.“ (SONNENBERG, 2016)

Nicht jede Instandhaltungsmaßnahme muss so aussehen...

Unter Einhaltung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und der Trinkwasserverordnung (TrinkwV.) besteht die Aufgabe der Wasserversorgungsunternehmen (WVU) darin, die Bevölkerung, Industrie und Gewerbe mit Trinkwasser ausreichender Qualität, Quantität und ausreichendem Druck zu versorgen. Neben den Ansprüchen der Grundversorgungssicherheit wird von den WVU verlangt, dass sie ihr Unternehmen mindestens nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik bzw. nach den Regelwerken des DVGW auslegen. Weiterhin wird erwartet, dass eine personelle, technische, wirtschaftliche und finanzielle Ausstattung in jedem WVU vorhanden ist, die eine sichere, zuverlässige sowie nachhaltige Versorgung mit einwandfreiem Trinkwasser gewährleistet. (DVGW W 1000 (A), 01/2016)

Auf diese Standards aufbauend genießen die WVU in Deutschland den international anerkannten Ruf einer hohen Trinkwasserqualität und Versorgungssicherheit. Während die Auf- und Ausbauphase der Infrastruktur in Städten und Gemeinden weitestgehend abgeschlossen ist, liegen die aktuellen Herausforderungen darin, den Standard der Versorgungssicherheit durch richtige Instandhaltungs- und Erneuerungsmaßnahmen auch für zukünftige Generationen aufrecht zu erhalten. Ein Fernwasserversorgungsunternehmen (FWVU) wie die Fernwasserversorgung Franken (FWF), hat mit der Versorgung von mehreren Städten und Gemeinden eine besonders große Verantwortung und eine hohe Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Um diesem Ziel gerecht zu werden, bedarf es einer stetigen Aufrechterhaltung der Anlagen und Betriebsmittel sowie Planung und Anpassung an neue oder sich ändernde Rahmenbedingungen wie z.B. Grenzwerte oder strukturelle Änderungen. Neben den Gewinnungs- und Aufbereitungsanlagen besitzt v.a. das Rohrleitungssystem den insgesamt größten Anteil an den Kapitalwerten der Wasserversorgung. Ein wichtiges Unternehmensziel sollte daher darin bestehen, diese langlebigen Wirtschaftsgüter betriebssicher zu erhalten. (BÖGE, 2016, S. 124) Ein Teil der zukunftsorientierten Planung ist die Rehabilitations- bzw. Erneuerungsplanung der Rohrleitungssysteme von WVU. Aufgrund alternder Infrastrukturen, häufiger Schadensfälle, Versorgungsunterbrechungen und zunehmender Wasserverluste besteht gerade im Bereich der Leitungen ein erhöhter Investitionsbedarf. In einer Umfrage der VKU aus dem Jahr 2016 sehen 96 Prozent der Befragten einen zukünftigen Investitionsschwerpunkt im Erhalt der Netze. (VKU, 2016)

Aus wirtschaftlicher und versorgungstechnischer Sicht ist es notwendig, nicht nur die Wasserverluste möglichst gering zu halten, sondern ebenfalls Versorgungsausfälle oder von Rohrbrüchen ausgehende Schäden zu vermeiden. Daher ist es wichtig die Rehabilitationsplanung so zu steuern, dass Rohrleitungsabschnitte mit einem höheren Ausfallpotential und einem höheren Schadensausmaß (wirtschaftlich und versorgungstechnisch) eine höhere Erneuerungspriorität erhalten. Eine gezielte und nachhaltige

Leitungserneuerung vermeidet somit nicht nur den Ausfall der Wasserversorgung sondern ist wirtschaftlich wesentlich vorteilhafter.

Um bei den Investitionen auch dem Anspruch der Nachhaltigkeit (s. 5 Säulen Modell der Wasserwirtschaft) gerecht zu werden ist es wichtig, bei Anpassungen, Erweiterungen oder Rehabilitationen bzw. Erneuerungen ebenso zukünftige Entwicklungen zu berücksichtigen.

So können neben dem technischen Ausfallrisiko auch demografische, klimatische, politische, technologische Veränderungen, Änderungen des Verbraucherverhaltens, wirtschaftliche Neuansiedlungen und viele weitere Faktoren einen ausschlaggebenden Einfluss auf den Wasserbedarf und somit die Erneuerungsplanung des Verteilungssystems haben. In ländlichen Regionen besteht u.a. für die Vielzahl kleiner WVU in Bayern eine Herausforderung darin, den Veränderungen sowie den immer höher werdenden Qualitätsstandards gerecht zu werden. Dies kann zu Umstrukturierungen führen, wodurch neue Verbundleitungen zwischen kleinen WVU oder der Anschluss an FWVU eine Lösung darstellen.

Der aktuelle Stand der Technik verfolgt daher verschiedene Ansätze der Instandhaltungs- bzw. Rehabilitationsplanung und die damit in Verbindung stehenden Themen. Hierzu gehören u.a. Wasserbilanz, Wasserbedarfsprognose, Wasserverlustermittlung, Erfassung und Auswertung von Schadensstatistiken, Arten von Rohrleitungsbau und viele mehr.

Im Verlauf der letzten 15 Jahre entwickelte sich das Benchmarking neben Schwerpunkten der Leitungsrehabilitation, zu einem der Hauptthemen in der Wasserwirtschaft. Mit dem Ziel der Unternehmensoptimierung, Effizienzsteigerung, Serviceverbesserung für den Kunden sowie der Schaffung einer größeren Transparenz hat der Kennzahlenvergleich immer mehr an Bedeutung gewonnen. Mit Erscheinen der DVGW Merkblätter W 1100-2 und W 1100-3 im Frühjahr 2016 als bundesweit einheitliche Grundlage für Kennzahlenvergleiche hat eine weitere Etappe des Benchmarkings in der Wasserwirtschaft begonnen.

Um den Mehrwert von Kennzahlen herauszustellen und die Einsatzfähigkeit weiter auszubauen wird angestrebt, die Kennzahlen mit der Rehabilitations- und Erneuerungsplanung des Verteilungssystems zu kombinieren. Hierbei spielt v.a. die Fähigkeit der Identifikation von Schwachstellen bzw. Verbesserungsmöglichkeiten durch Kennzahlenvergleiche eine wichtige Rolle.

Gerade die große Spanne an aktuellen und zukünftigen Herausforderungen fordert einen vielseitig orientierten Rehabilitationsansatz, um die langfristige Planung, wie sie im Leitungsbau notwendig ist, zu realisieren. Mit der Bewertung des Verteilungssystems auf Basis von Kennzahlen und Strukturmerkmalen und einer Risikobewertung der Leitungsabschnitte sollen in der Reha-Planung Entwicklungen auf den verschiedenen Ebenen berücksichtigt werden.

1.1 Zielsetzung der Arbeit

Im Zuge der „FWF Studie 2040“, einer Unternehmensstudie der FWF für die Planung der kommenden 20 Jahre, soll u.a. eine IST-Zustandsbewertung des Verteilungssystems sowie eine Einschätzung über zukünftige Entwicklungen der Versorgungsbereiche und des Verbandsgebiets erfolgen.

Hauptziel dieser Arbeit ist es, für die Rehabilitationsplanung und die Ermittlung des Rehabilitations- bzw. Erneuerungsbedarfs eine Bewertung des Leitungssystems zu entwickeln.

Die Bewertung des Leitungssystems ist auf Basis eines Kennzahlenvergleichs sowie einer Risikoanalyse der Leitungsabschnitte zu erstellen. Ziel ist die Bildung und Auswertung der

Kennzahlen auf Ebene von Teilbereichen (Versorgungsbereichen) des Gesamtsystems der FWF, so dass ein Vergleich der Kennzahlen möglich ist und ebenso strukturelle Faktoren berücksichtigt werden können.

Neben rein materialtechnischen Aspekten sind mit Hilfe der Berechnung einer Wassermengenbilanz und einer Wasserbedarfsprognose bis zum Jahr 2040 aktuelle und zukünftige Systementwicklungen zu berücksichtigen und abzuschätzen.

Für die Zustandsbetrachtung gilt es auf Ebene des Leitungssystems eine Risikoanalyse und -bewertung durchzuführen, welche in Anlehnung an DVGW Regelwerte W 400-3, W 402, W 403, verschiedene Bewertungskriterien für Schadenseintritt und Ausmaß des Schadens berücksichtigt.

Es ist zu prüfen inwieweit sich und welche Kennzahlen zur Bewertung des Verteilungssystems im Zusammenhang mit der Rehabilitationsplanung eignen. Über den Vergleich der Ergebnisse auf Ebene der Kennzahlen sowie auf Ebene des Leitungssystems in Form der Risikoanalyse wird untersucht, bis zu welchem Grad die Ergebnisse übereinstimmen und sich miteinander vereinbaren lassen. Hieran anknüpfend ist zu klären, ob Priorisierungen oder Präzisierungen für die Rehabilitationsplanung getroffen werden können und welcher Mehrwert durch die Kombination der zwei Betrachtungsebenen erzielt wird.

1.2 Struktur der Arbeit

Die Arbeit lässt sich anhand ihrer Kapitel sowie der Schwerpunkte in verschiedene Hauptpunkte gliedern. In den Kapiteln zwei, drei und vier werden die Hauptthemen Instandhaltung und Rehabilitation, Kennzahlen und Benchmarking vorgestellt sowie die Strukturen und Fakten zur Fernwasserversorgung Franken erläutert. Diese ersten Kapitel liefern grundlegende Hintergrundinformation zu nachfolgenden Themen. Es werden die unterschiedlichen Strategien der Instandhaltung beschrieben sowie eine Einordnung der Rehabilitationsplanung vorgenommen. Des Weiteren wird auf die Definition von Kennzahlen und Benchmarking eingegangen und verschiedene Kennzahlensysteme vorgestellt. Zum besseren Systemverständnis werden die Strukturen der FWF dargestellt und es wird gesondert auf die Versorgungsbereiche eingegangen, die eine entscheidende Rolle für den Kennzahlenvergleich und die Ergebnisauswertung darstellen.

Im anschließenden Kapitel fünf -Methodik- werden weitere Grundlagen, der übergreifende Bewertungsansatz sowie die Bestandteile und Berechnungsansätze der Wassermengenbilanz, der Wasserbedarfsprognose, der Kennzahlen und der Risikoanalyse beschrieben.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Definition und Eingliederung des Rohrleitungsbestands sowie die Aufstellung und Auswertung der Schadensstatistik. Diese Themen sind in der Risikoanalyse des Leitungssystems eingegliedert, finden jedoch ebenfalls Anwendung bei der Aufstellung der Kennzahlen. Die verschiedenen Inhalte von Wasserbilanz, Prognose, Kennzahlen, Bestandsdefinition, Schadensstatistik und Risikoanalyse sind eng miteinander verknüpft und deren einzelne Zwischenergebnisse dienen als Ausgangsdaten anderer Berechnungen. Die Unterkapitel sind daher teilweise miteinander verknüpft und im Zusammenhang zu betrachten.

In Kapitel sechs erfolgen die Vorstellung, der Vergleich sowie die Bewertung der Ergebnisse. Im abschließenden Fazit in Kapitel sieben sind eine Gesamtbewertung sowie ein Ausblick verfasst.

2 INSTANDHALTUNG UND REHABILITATION

Zu den Planungsgrundsätzen in der Wasserwirtschaft gehören u.a. die Berücksichtigung langfristiger Entwicklungen wie der Wasserbedarf und strukturelle Änderungen. Bei der Planung soll zudem eine möglichst hohe Betriebsfähigkeit und eine lange technische Nutzungsdauer der Verteilungsanlagen sichergestellt werden. Für Rohrleitungen ist beispielsweise ein Planungszeitraum bzw. eine Mindestnutzungsdauer von ≥ 50 Jahren anzusetzen. (DVGW W 400-1 (A), 02/2015, S. 20) Die Instandhaltung und Rehabilitation lässt sich somit als ein Teil des sogenannten Asset-Managements (Anlagen und Netzmanagement) einordnen, welches jedoch noch viele weitere Komponenten umfasst.

Heute, da der Ausbau des Verteilungssystems größtenteils abgeschlossen ist, gilt es die Planungsgrundsätze für die Instandsetzung anzuwenden. Eine zusätzliche Bedeutung erhält die Instandhaltung des Verteilungssystems dadurch, dass sie im direkten Zusammenhang steht mit inneren und äußeren risikobehafteten Einwirkungen auf Hygiene und Versorgungssicherheit. Durch Versäumnis von Reha-Maßnahmen, Ausfallzeiten, Schädigung Dritter bei Rohrbrüchen, extremer Wasserverluste sowie daraus resultierenden unternehmensgefährdeten Sprunginvestitionen kann es zusätzlich zu negativen wirtschaftlichen Auswirkungen bis hin zur Gefährdung der Unternehmensexistenz kommen. (DVGW W 400-3, 09/2006, S. 15)

2.1 Instandhaltungsstrategien

Die Instandhaltung verfolgt das Ziel, diesen Auswirkungen durch Maßnahmen entgegenzuwirken, weshalb Instandhaltungsziele stets den eigenen Unternehmenszielen zukommen sollten. Hierzu gehören u.a. die Vermeidung bzw. Minderung der Rohrschäden und Wasserverluste, optimierte Nutzungsdauer und Investitionsplanung sowie Erhaltung bzw. Verbesserung der Kundenzufriedenheit. (DVGW W 400-3, 09/2006, S. 16) Die Leitfragen der Instandhaltung könnten daher lauten „Wo und zu welchem Zeitpunkt in welcher Reihenfolge muss investiert bzw. ersetzt werden?“

Generell lassen sich drei Instandhaltungsstrategien unterscheiden

1. **Ereignisorientierte Instandhaltung oder Ausfallstrategie**
Instandsetzungsmaßnahmen finden als Reaktion auf eingetretene Schäden oder externe Ereignisse, also als nachsorgende Maßnahme statt.
2. **Vorbeugende und intervallorientierte Instandhaltung oder Präventivstrategie**
Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen werden in definierten Zeitabständen durchgeführt.
3. **Vorbeugende und zustandsorientierte Instandhaltung oder Inspektionsstrategie**
Instandhaltung orientiert sich am festgestellten Ist-Zustand und an den Entwicklungstendenzen der Anlagen im Vergleich zu einem definierten Soll- Zustand.
(DVGW W 400-3, 09/2006, S. 16)

Die sogenannte Ausfallstrategie (vgl. Punkt 1) entspricht nicht dem Stand der Technik und verfehlt damit die allgemeinen Instandhaltungsziele. Bei diesem Ansatz besteht die Gefahr, dass die Versorgungsqualität sowie die Kundenzufriedenheit extrem gefährdet sind und zudem die Instandhaltungskosten langfristig überproportional hoch ausfallen. Der zweite Ansatz der Präventivstrategie verfolgt zwar regelmäßige und vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen, berücksichtigt jedoch nicht den Ist-Zustand. Dies führt ebenfalls zu überhöhten Instandhaltungskosten, weshalb die Strategie unwirtschaftlich ist.

Die sogenannte Inspektionsstrategie besitzt somit den nachhaltigsten Ansatz, berücksichtigt den aktuellen Zustand und die Entwicklung des Verteilungssystems, ist vorbeugend und langfristig ausgelegt. Die Investitionsmittel werden bedarfsorientiert eingesetzt, wodurch ein effektiver und wirtschaftlicher Einsatz garantiert ist. Die hieraus abgeleitete zustandsorientierte Instandhaltung ist damit zwangsweise verknüpft mit einer weiteren Inspektionsstrategie bzw. Zustandsbewertungsstrategie. Optimalerweise liegen dem Unternehmen für die zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie und die damit verbundene Bewertung des Versorgungssystems Daten in ausreichender Quantität und Qualität vor.

Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, lässt sich die Instandhaltung in Form ihrer konkreten Maßnahmen weiter untergliedern.

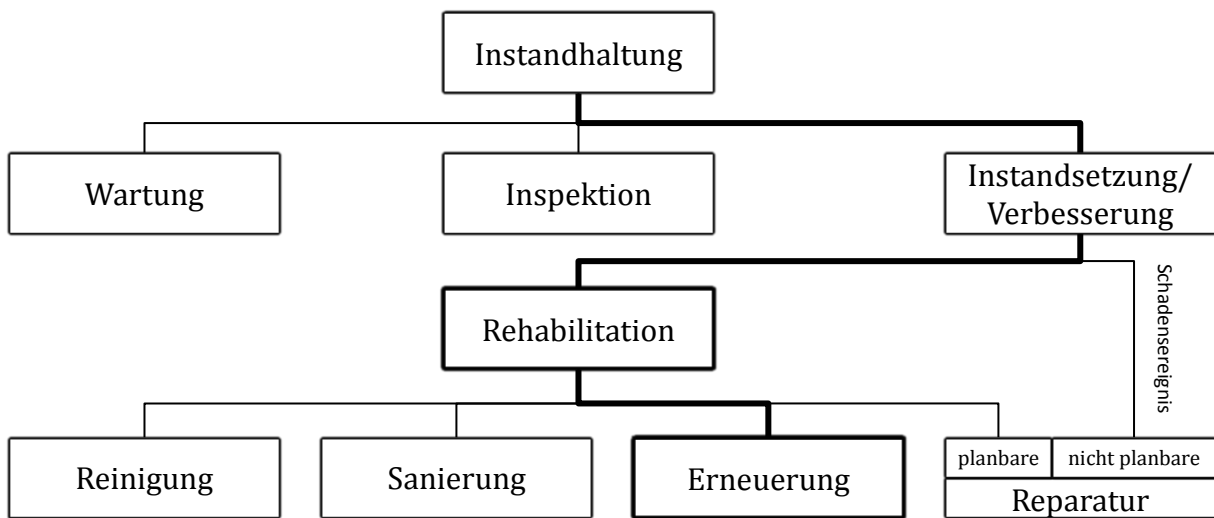


Abbildung 1: Instandhaltung (Eigene Darstellung nach DVGW W 400-3, 09/2006, S. 27)

Die Entwicklung der Bewertungsmethode dieser Arbeit baut generell auf der zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie auf und befasst sich weiter mit den Komponenten der Rehabilitation des Verteilungssystems. Die Rehabilitation, kurz Reha genannt, umfasst die Sicherung, Wiederherstellung bzw. Verbesserung des ordnungsgemäßen Zustands der Wasserverteilungsanlage durch rechtzeitige, kontinuierliche und langfristig planbare Instandsetzungsmaßnahmen, welche die Substanz nachhaltig sichern. (DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 30) In den meisten Fällen, ebenso in der FWF, wird die Rehabilitation hauptsächlich in Form der Erneuerung von Rohrleitungen durchgeführt (vgl. Abbildung 1).

2.2 Komponenten der Rehabilitation

Die Rehabilitation lässt sich weiter in die drei Komponenten **Reha-Strategie**, **Reha-Planung** und **Reha-Maßnahme** unterteilen. Wie in Abbildung 2 zu erkennen, wird die Untergliederung anhand des Betrachtungszeitraumes und des Detaillierungsgrades vorgenommen, wobei die einzelnen Schritte aufeinander aufbauen. Aus den drei Komponenten ergeben sich die zukünftigen Gesamtkosten, womit die Wirtschaftlichkeit der Versorgung bestimmt wird. Um eine nachhaltige Rehabilitation zu gewährleisten, müssen die technische und hygienische Versorgungssicherheit sowie langfristig niedrige Gesamtkosten garantiert sein. (DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 31)

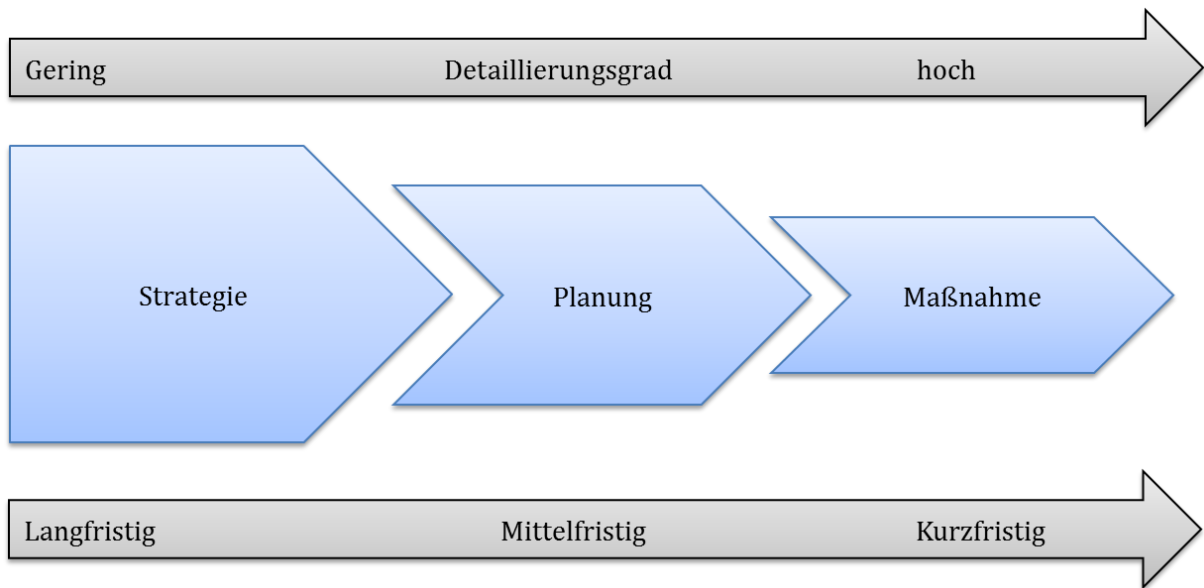


Abbildung 2: Teilprozesse der Reha (Eigene Darstellung nach DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 9)

Reha-Strategie

Im ersten Schritt, der Reha-Strategie geht es darum allgemeine Ziele festzulegen, in welchem Umfang und Ausmaß die Rehabilitation in der Unternehmensstrategie verankert werden soll. Die Reha-Strategie beinhaltet daher die Ermittlung der langfristigen, strategischen Erneuerungs- und Sanierungsrate z.B. auf Basis der zustandsorientierten technischen Nutzungsdauer. Hierzu gehört ebenfalls die Ermittlung des langfristigen Finanzbedarfs, welcher sich wiederum von der sogenannten strategischen Reha-Rate ableitet. Zur Bestimmung der strategischen Reha-Rate sind folgende Informationen zu ermitteln

- Betriebs- und Instandhaltungskosten
- Schadensrate
- Wasserverluste
- hydraulische Leistungsfähigkeit
- Ausfallwahrscheinlichkeit/ -risiko und
- technischer Nutzungsdauer

(DVGW W 400-3, 09/2006, S. 31)

Wird die spezifisch-strategische Reha-Rate von der zu erwartenden technischen Nutzungsdauer abgeleitet, sind zunächst die technischen Nutzungsdauern aller Rohrleitungsklassen zu ermitteln. Bei einer erwarteten technischen Nutzungsdauer von z.B. 100 Jahren ergibt sich hieraus eine strategische Reha-Rate von einem Prozent. Auf Basis verschiedener Berechnungsmethoden, abhängig vom Datenbestand, kann die strategische Reha-Rate abhängig vom tatsächlichen Alter der Leitungen und der daraus resultierenden Restnutzungsdauer für verschiedene Zeitabschnitte bestimmt werden. (DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 14 ff) Die in der Reha-Strategie festgelegte Reha-Rate bzw. der festgelegte jährliche Erneuerungsbedarf ist v.a. bei bisher fehlenden Rehabilitationsmaßnahmen wichtig und dient u.a. dazu, bei verzweigten Verteilungsnetzen und vielen Abschnitten die erforderlich zu erneuernde jährliche Gesamtleitungslänge zu ermitteln. Sind in einem Unternehmen bereits etablierte Reha-Strategien und festgelegte Finanzmittel vorhanden, können die Erfahrungswerte als Grundlage dienen und ggf. an aktuelle Entwicklungen angepasst werden. (DVGW W 400-3, 09/2006, S. 31)

Reha-Planung

Im zweiten Schritt, der mittelfristigen Planung (Reha-Planung), findet eine Differenzierung der Reha-Rate statt u.a. im Hinblick auf Planungszeitraum, die räumliche Lage und Anlagengruppen. Weitere Elemente sind die Erstellung einer Prioritätenliste, eine generelle Vorauswahl der Werkstoffe sowie die Ermittlung des Finanzbedarfs. (DVGW W 400-3, 09/2006, S. 33) Unter Berücksichtigung wechselnder Rahmenbedingungen, wie z.B. einem veränderten Wasserbedarf oder der Neubau von Leitungen, kann innerhalb der Reha-Planung auch eine strategische Netzoptimierung berücksichtigt werden.

Mit steigender Präzision und Aussagesicherheit, wann eine Wasserleitung spätestens erneuert werden muss, lassen sich Rohrleitungen sicherer und meist kostengünstiger über einen längeren Zeitraum nutzen. (SORGE ET AL., 2012, S. 6) Ein Schwerpunkt der Reha-Planung ist die Priorisierung bzw. die Bildung einer Prioritätenliste, die sich genau mit dieser Fragestellung auseinandersetzt. Maßstab hierfür ist das Schadensrisiko, welches von den einzelnen Leitungsabschnitten ausgeht oder auf diese einwirkt. Die Ermittlung des Risikos ergibt sich aus unterschiedlichen Kriterien bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Ausmaß des Schadens. Die Bewertungskriterien sind wiederum abhängig von den Leitungseigenschaften oder Umgebungsfaktoren und sind ggf. auf unternehmensspezifische Gegebenheiten abzustimmen. (DVGW W 400-3, 09/2006) Die Systematik der Netzbewertung kann somit wie in nachfolgender Abbildung 3 dargestellt werden.

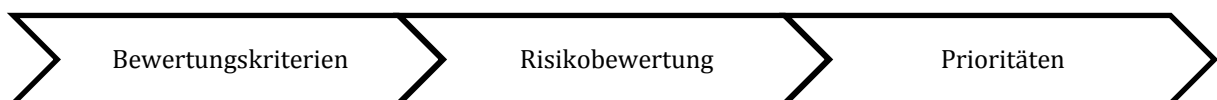


Abbildung 3: Netzbewertung innerhalb der Reha-Planung (DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 19)

Auf dieser Ebene der Rehabilitation lässt sich daher die wie zuvor definierte Risikoanalyse bzw. Risikobewertung als Bestandteil in die Reha-Planung einordnen. Diese technische Planungskomponente der Reha-Planung ist eines der Hauptbestandteile dieser Arbeit und wird zur Beurteilung des FWF Rohrleitungsbestands genutzt. Über einzelne Schritte zur Auswahl und Vergabe der Bewertungskriterien wird detailliert im Kapitel Methodik eingegangen.

Eine Budgetplanung folgt als letzter Schritt auf Basis der technischen Bewertungen und bildet den Übergangsbereich zur Maßnahmenplanung.

Reha-Maßnahme

Aufbauend auf die Reha-Strategie und Reha-Planung folgt als dritte Komponente die Reha-Maßnahme. Die Reha-Maßnahmenplanung befasst sich mit der konkreten Umsetzung des zuvor identifizierten Rehabilitationsbedarfs. Hierzu gehören u.a. die klare Definition der Bauabschnitte bzw. die Zusammenfassung von Abschnitten mit ähnlichen Prioritäten. In einer Entwurfsplanung kann ein Variantenvergleich der Baumaßnahme erfolgen. In weiteren Schritten sind die Dimensionierung, Rehabilitationstechnologie sowie weitere Verfahrensschritte festzulegen. Hier kann beispielsweise zwischen offenen und grabenlosen Bauverfahren unterschieden werden. (DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 20) Die konkrete Reha-Maßnahme von der Ausschreibung bis zur Umsetzung erfolgt somit häufig in Zusammenarbeit mit externen Ingenieurbüros.

3 KENNZAHLEN UND BENCHMARKING IN DER WASSERWIRTSCHAFT

Der Wortlaut Benchmark leitet sich aus dem englischen ab, von Bench gleich Bank bzw. Werkbank und mark gleich Zeichen, Kennzeichen. Ursprünglich wird die Bezeichnung auch für Markierungen von Nivellierungspunkten bzw. Fixpunkten im Vermessungswesen eingesetzt (PARAŠKEVOV, 2004, S. 31), was in gewisser Weise auch den heutigen Zielen des Benchmarking entspricht. Unter Benchmarking wird im allgemeinen Sprachgebrauch ein Prozess verstanden mit dem Ziel, vom „Besten“ zu lernen, (LÖHNER, 2003) wobei der „Beste“ den „Nivellierungspunkt“ angibt und der Prozess die Ausnivellierung zu diesem Punkt anstrebt.

Heute ist das *Benchmarking* in verschiedenen Wirtschafts- und Geschäftsfeldern zu finden und wird zum Vergleich von Produkten, Dienstleistungen, Organisationsstrukturen oder Unternehmensprozessen eingesetzt. Seit dem Jahr 1996 wird Benchmarking auch in der Wasserwirtschaft eingesetzt und hat sich seither nach und nach in dieser Branche etabliert. (AQUABENCH, 2016) Allgemein lässt sich das Benchmarking *„als systematischer und kontinuierlicher Prozess zur Identifizierung, zum Kennenlernen und zur Übernahme erfolgreicher Instrumente, Methoden und Prozesse von Benchmarkingpartnern“* definieren. Ziel ist, nach erfolgreicher Identifikation von ausgewählten Methoden oder Teilprozessen und dem Abgleich mit den Vergleichspartnern, die Steigerung der Leistungsfähigkeit der Benchmarking Teilnehmer bzw. des Systems oder des Produktes. (DVGW W 1100 (M), 03/2008, S. 4)

Als Vergleichsgrößen werden im Benchmarking in der **Wasserwirtschaft** sogenannte Kennzahlen verwendet, welche als Verhältniszahl aus Kenngrößen bzw. Datenvariablen definiert sind. Datenvariable sind technische oder kaufmännische Größen bzw. Zahlen aus statistischen Daten zur Beschreibung des Unternehmens als Basis zur Berechnung von Kennzahlen. Mit Hilfe der Kennzahlen lassen sich somit die Zustände, Betriebsabläufe oder Eigenschaften eines Systems oder Unternehmens gut widerspiegeln und beschreiben. Über eine Auswahl von Kennzahlen können so auch gezielt einzelne Themen, Fragestellungen oder Systembereiche betrachtet werden. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016) Im Zusammenhang mit den Kennzahlen werden im Benchmarking sogenannte Kontextinformationen bzw. Strukturmerkmale erhoben. Dies sind Merkmale, die strukturelle Rahmenbedingungen der Wasserversorgung abbilden und somit natürliche (Geologie, Klima, Hydrologie, Böden, Relief) und anthropogene (Siedlungs- und Abnehmerstruktur) Eigenschaften beschreiben, die sich kurz- bis mittelfristig nicht beeinflussen lassen. (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016, S. 5)

Kontextinformationen oder Strukturmerkmale können daher dafür genutzt werden, eine Auswahl von Vergleichspartnern zu identifizieren, deren Unternehmen ähnliche Rahmenbedingungen aufweisen. Effizienz und Leistungsunterschiede können letztendlich erst auf Grundlage ähnlicher Rahmenbedingungen aussagekräftig bewertet und interpretiert werden. Hierdurch wird vermieden, dass Effizienz und Leistungsunterschiede, die durch Strukturunterschiede begründet sind, fälschlicherweise auf die Unternehmensführung bezogen werden. (DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 7)

Vor dem Hintergrund der Liberalisierung der Märkte in Deutschland zur Zeit der Jahrtausendwende galt es plötzlich auch für WVU mit in die Wettbewerbsdiskussion einzusteigen und die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Unternehmens nachzuweisen. Das Benchmarking wird seither als Instrument eingesetzt, um die Unternehmenszahlen der verschiedenen Bereiche transparent darzustellen. Die Liberalisierungsdebatte in der BRD im Bereich der Wasserwirtschaft konnte in der darauffolgenden Zeit aufgrund verschiedener

Faktoren zwar wieder entschärft werden, die Idee der Effizienzsteigerung wurde jedoch vom BMWi in den Ansatz einer Modernisierungsstrategie der Wasserwirtschaft überführt. (LÖHNER, 2003, S. 86)

Somit verfolgt das Benchmarking in der Wasserwirtschaft heute v.a. das Ziel, technische Prozesse oder Anlagen sowie kaufmännische Instrumente zu optimieren. (DVGW W 1100 (M), 03/2008) Die Ermittlung des Kostensenkungspotentials ist dabei häufig mit der Identifikation des Optimierungspotentials von Betrieb und Infrastruktur verknüpft.

Der generell methodisch einfache Ansatz, ein System oder Produkt anhand von Vergleichen der verschiedenen Bereiche, Aspekte, Strukturen u.a. Faktoren zu analysieren, ist zunächst auf alle Anwendungsbereiche übertragbar. Die Vorgehensweisen für den systematischen Vergleich können sich je nach Ziel und Betrachtungsebene jedoch unterscheiden und müssen ggf. individuell angepasst werden. Dies ist ebenso für die Bewertung der Ergebnisse zu beachten. Welche konkreten Schlüsse zu ziehen und welche Maßnahmen zur Optimierung des Systems oder zur Verbesserung von Prozessen zu ergreifen sind, ist ebenfalls individuell für jeden Beteiligten und jeden Bereich zu prüfen oder abzuwägen. (LÖHNER, 2003, S. 102)

Des Weiteren gibt es unterschiedliche Arten von Benchmarking, die sich zunächst in zwei Formen differenzieren lassen:

- „Unterscheidung nach dem Benchmarking - Objekt“ und
- „Unterscheidung nach dem Benchmarking - Partner“

Die weitere Unterteilung zeigt Tabelle 1, in der je Differenzierungspunkt unterschiedliche Betrachtungsgrenzen bzw. Datengrundlagen gelten.

Tabelle 1: Benchmarking-Arten (Eigene Darstellung nach LÖHNER, 2003, S. 104)

| Unterscheidung nach dem Benchmarking- | |
|--|--------------------------------------|
| Objekt | Partner |
| Produkt-Benchmarking | Internes-Benchmarking |
| Prozess-Benchmarking | Externes-Benchmarking |
| Cost-Benchmarking | Wettbewerbsorientiertes-Benchmarking |
| Strategie-Benchmarking | Funktionales-Benchmarking |

Die Frage ob ein internes oder externes Benchmarking genutzt werden soll, ist u.a. abhängig von der Branche, der Unternehmensgröße, der Fragestellung und hätte natürlich Auswirkung auf den Aufwand der Datenerhebung und die Auswertung. Das interne Benchmarking analysiert Kennzahlen, Methoden und Prozesse im eigenen Unternehmen und kann zwischen Abteilungen, unterschiedlichen Standorten, Regionen oder Bereichen durchgeführt werden. (LÖHNER, 2003, S. 105)

Aktuell wird das Benchmarking in der Wasserwirtschaft von einigen wenigen Unternehmen wie Rödl&Partner oder Aquabench, zwischen WVU eines Bundeslandes oder zwischen einigen WVU bundesweit durchgeführt. In einigen Bundesländern wie Bayern, Hessen oder NRW findet in regelmäßigen Abständen ein sogenanntes Landesbenchmarking für den Wasserversorgungs- aber auch Abwasserentsorgungsbereich statt. Die regelmäßige Wiederholung der Datenerhebung und Teilnahme am Benchmarking ermöglicht im unternehmensinternen und externen Vergleich Entwicklungen und Erfolge anhand längerer Zeitreihen zu erkennen. (RÖDL & PARTNER, 2013)

3.1 Beispiel Landesbenchmarking in Bayern „EffWB“

Als Anwendungsbeispiel eines Benchmarkings wird im Nachfolgenden kurz auf das Landesbenchmarking in Bayern und dessen Entwicklung in den letzten Jahren eingegangen.

Die große Anzahl vieler kleiner WVU in Bayern und die damit verbundenen sehr dezentralen Strukturen im bundesweiten Vergleich waren einer der Faktoren, welche Anfang der 2000er Jahre zu der Diskussion führten, ob eine ausreichende Effizienz der Versorgungsstruktur in der Wasserwirtschaft gegeben sei. Mit der Etablierung der Kennzahlen und des Benchmarkings entwickelte sich hieraus das Projekt „Effizienz- und Qualitätsuntersuchung der kommunalen Wasserversorgung in Bayern“ (EffWB). (RÖDL & PARTNER, 2000, S. 10) Bayern zählte somit zu den ersten Bundesländern, die ein Benchmarking in der Wasserwirtschaft auf Landesebene entwickelt und durchgeführt haben. Zu den Projektpartnern gehören u.a. Rödl & Partner GbR, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW), Bayerisches Landesamt für Umwelt (Ifu), Verband der bayerischen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. (VBGW), Bayerischer Gemeindetag, Bayerischer Städtetag sowie Experten aus den führenden Wassergremien wie DVGW, IWW.

Ausgehend vom Projektstart mit dem Erhebungsjahr 2000 fand alle drei Jahre eine Wiederholung des Kennzahlenvergleichs in den sogenannten Hauptrunden statt, so dass aktuell im Jahr 2016, die Auswertung der sechsten Hauptrunde ansteht. Innerhalb dieses Zeitraumes konnten sowohl positive wie auch negative Entwicklungen und Erfahrungen beobachtet werden.

Der generelle Projektablauf des Benchmarkings bzw. in diesem Fall einer Hauptrunde der EffWB, erstreckt sich von der Auftaktveranstaltung bis hin zur Auswertung und zum Erfahrungsaustausch über den Zeitraum eines Jahres. Nach Teilnahmeschluss sind die WVU aufgefordert, die zur Bestimmung der festgelegten Kennzahlen benötigten Eingangsdaten zu erfassen und dem Projektbüro zur Verfügung zu stellen. Die Daten werden daraufhin stets anonym und vertraulich weiterverarbeitet und ausgewertet. Innerhalb von Vergleichsgruppen aufgeteilt nach z.B. Größenklassen, können die Klassen untereinander bzw. kann der eigene Unternehmenswert in seiner Klasse mit dem Mittelwert oder dem Maximalwert verglichen werden. Die Mittelwerte werden i.d.R. im allgemeinen Projektbericht veröffentlicht (s. Beispiel Abbildung 4), wohingegen der Vergleich mit der eigenen Unternehmenszahl in einem Individualbericht betrachtet wird. Das Beispiel in Abbildung 4 aus dem Jahr 2013 zeigt den Vergleich der Reha-Raten für die verschiedenen Größenklassen je jährlicher Einspeisemenge in Mio. Kubikmeter. Als Fernwasserversorgungsunternehmen gehört die FWF der letzten Klasse mit über 2,5 Mio. Kubikmeter pro Jahr an und kann sich mit den Unternehmenswerten dieser Gruppe vergleichen. In den EffWB werden Fernwasserversorgungsunternehmen, obwohl sie eine besondere Struktur besitzen, aktuell nicht gesondert betrachtet. (RÖDL & PARTNER, 2000, S. 32)

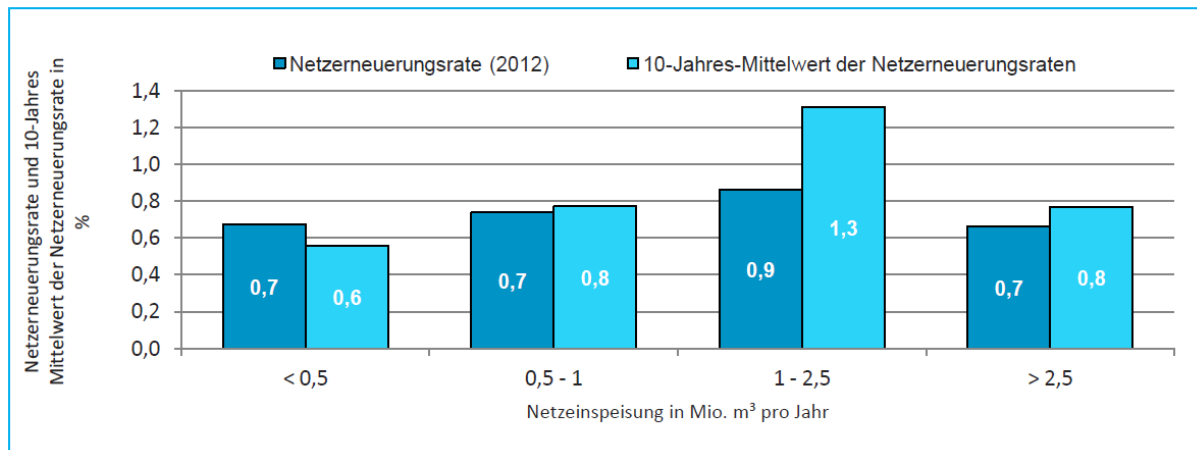


Abbildung 4: Beispiel Reha-Rate (mittlere jährliche und 10-Jahresmittelwert der Erneuerungsrate) EffWB 2013 (RÖDL & PARTNER, 2013, S. 39)

Würde der Unternehmenswert in diesem Fall unter dem Mittelwert liegen, wird eine Empfehlung zur Überprüfung und ggf. Erhöhung der Rehabilitation ausgesprochen.

In einer abschließenden Veranstaltung jeder Benchmarkingrunde haben die WVU die Möglichkeit sich, auch persönlich über die Ergebnisse auszutauschen und aus Erfahrungen anderer Unternehmen zu lernen. Abbildung 5 zeigt Möglichkeiten der Ergebnisverwertung von der Positionsbestimmung des WVU bis hin zur Optimierung der einzelnen Bereiche. Die Auswertung der Hauptrunde 2013 zeigt, dass die Erkenntnisse aus den letzten Jahren in einigen WVU bereits zu Erfolgen führten und in einigen Fällen bereits die Erhebung der eigenen Daten einen deutlichen Erkenntnisgewinn mit sich bringt. (RÖDL & PARTNER, 2000, S. 80)

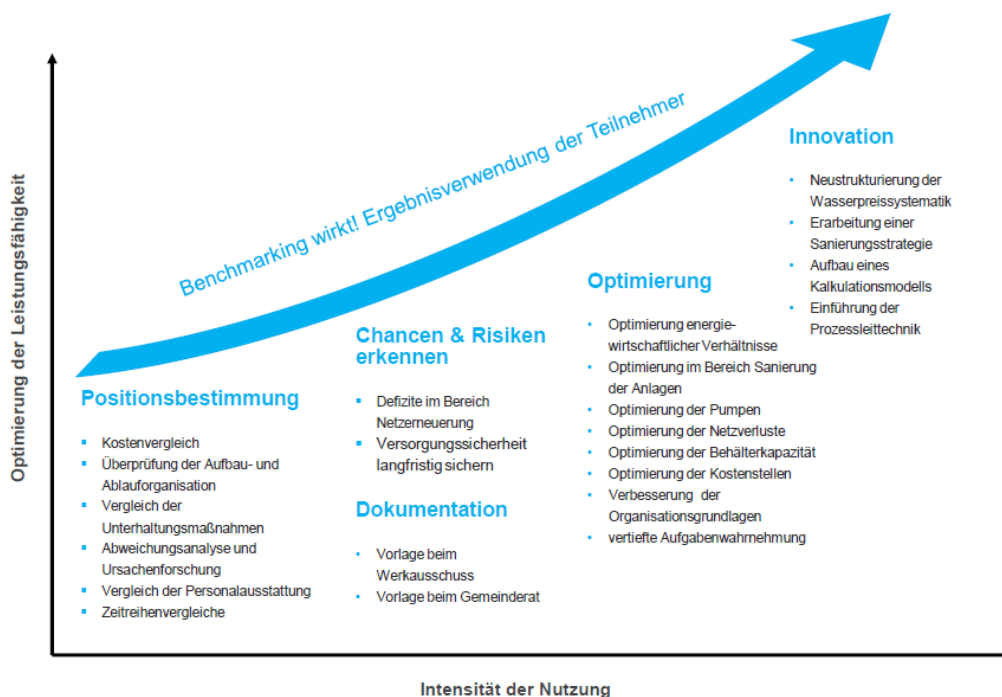


Abbildung 5: Ergebnisverwertung für die WVU (RÖDL & PARTNER, 2013, S. 54)

Werden die verschiedenen Abschlussberichte der EffWB miteinander verglichen, zeigt sich nicht nur die Entwicklung der einzelnen WVU sondern ebenfalls eine Entwicklung der Teilnehmerzahlen, Projektdurchführungen und Auswertungen. Zur besseren Auswertung wurden beispielsweise für einige Kennzahlen andere Vergleichsgruppen gewählt (vgl.

Behälterkapazität). Ein weiterer Mehrwert liegt v.a. darin, anhand der vergangenen Auswertungsjahre Zeitreihenvergleiche durchführen zu können. Eine Erweiterung der Ergebnisdarstellung geht zudem auf das Thema der strukturellen Einflussfaktoren ein. Diese ermöglicht den WVU die Leistungsergebnisse besser einzuordnen und durch die Darstellung der Strukturmerkmale die Kosten- und Gebührendiskussion zu versachlichen. (RÖDL & PARTNER, 2013, S. 11)

Eine erste und anhaltende Herausforderung besteht zudem darin, die über 2.000 WVU in Bayern zur Teilnahme und Wiederholung an den Benchmarking Projekten zu motivieren. Innerhalb der Hauptrunden konnte die Anfangszahl aus dem Jahr 2000 mit 98 Teilnehmern bisher nur im Erhebungsjahr 2010 mit 113 Teilnehmern überschritten werden. Dies zeigt, dass die Gesamtteilnehmerzahl nach wie vor verhältnismäßig gering ist. Unter den knapp 100 Teilnehmern befinden sich viele große WVU, so dass bezogen auf die Wasserabgabemenge in Bayern von einem repräsentativen Anteil ausgegangen werden kann. (RÖDL & PARTNER, 2013, S. 14)

Weitere Benchmarking-Projekte in der BRD

Neben dem Landesbenchmarking in den Ländern gibt es weitere Benchmarking-Projekte der Wasserwirtschaft, die auch länderübergreifend aufgestellt sind. Für die Fernwasserversorger zählt hierzu das „Benchmarking Fernwasserversorgung“ der Firma Aquabench. In diesem Projekt vergleicht sich, ähnlich wie im vorangegangenen Beispiel, ein Großteil der in Deutschland tätigen Fernwasserversorgungsunternehmen. Der Vorteil ist, je ähnlicher die Unternehmensstrukturen sind, desto besser lassen sie sich miteinander vergleichen bzw. umso aussagekräftiger sind die Ergebnisse.

3.2 Aufbau der Kennzahlensysteme in der Wasserwirtschaft

Die nachfolgenden Abschnitte befassen sich mit dem allgemeinen Aufbau sowie den verschiedenen Ansätzen von Kennzahlensystemen in der Wasserwirtschaft. Hierzu gehören u.a. das IWA-Kennzahlensystem, der EffWB-Ansatz sowie der DVGW Ansatz, welche hier kurz beispielhaft beschrieben werden.

IWA-Kennzahlensystem

Ausgangspunkt für die heute meistens verwendeten Benchmarking-Ansätze bzw. die Bildung von Kennzahlen in der Wasserwirtschaft, ist das sogenannte IWA-Kennzahlensystem, welches von der International Water Association (IWA) Anfang der 2000er Jahre in einer ersten Ausgabe veröffentlicht wurde. Auf die erste Ausgabe des Jahres 2000 folgte im Jahr 2006 eine überarbeitete und erweiterte Version unter dem Titel „Manual of Best Practices on Performance Indicators for Water Supply Services“ welche bereits die Erfahrungen der ersten Jahre berücksichtigte. (ALEGRE ET AL., 2006) Die Tatsache, dass Ende dieses Jahres 2016 die dritte Auflage veröffentlicht wird, zeigt die stetige Entwicklung und Aktualität des Themas Kennzahlen.

Der Aufbau des Gesamtkennzahlensystems gliedert sich in verschiedene Informationsebenen und wird im IWA-System in Daten-Elemente, Variablen, Kennzahlen und Kontextinformationen unterschieden. Daten-Elemente sind Basisdaten, die sich aus Unternehmensfakten, Messungen oder Aufnahmen ergeben. Die Variablen (Variables) oder Datenvariablen genannt, können Daten-Elemente oder statistische Unternehmensdaten sein, sie besitzen i.d.R. eine eindeutige Einheit und sind die Eingangsparameter für Kennzahlen. Die Kennzahlen (Performance

Indicators) sind das Endprodukt und der eigentliche Vergleichsparameter. Sie sollen Informationen preisgeben und nach dem Vergleich als Entscheidungshilfe dienen. Die Kennzahlen erhalten häufig die kombinierte Einheit aus den Eingangs-Datenvariablen (z.B. m^3/km) oder werden in Prozent angegeben. Eine weitere Informationsebene bilden die sogenannten Kontextinformationen (Context information), auch Strukturmerkmale genannt. Sie beschreiben die Struktur bzw. Charakteristik eines Systems bezüglich ihrer Eigenschaften, die natürlicherweise gegeben und vom Unternehmen kurzfristig nicht beeinflussbar sind. Hierzu gehören u.a. geografische, geologische oder demografische Strukturen. Sie dienen zur Unterscheidung der verschiedenen Systeme bzw. zur Abgrenzung der Unternehmen untereinander. (ALEGRE ET AL., 2006, S. 10)

Zur weiteren Strukturierung werden die Kennzahlen und Kontextinformationen weiter in Themengruppen eingeteilt, um die Verwendung und Auswertung sinnvoll aufeinander abzustimmen. Die Kennzahlen gliedern sich im IWA-Ansatz in die Bereiche: (ALEGRE ET AL., 2006, S. 16)

- Wasserressourcen (Water resources (WR))
- Personal (Personnel (Pe))
- Technische Ausstattung (Physical (Ph))
- Betrieb (Operational (Op))
- Servicequalität (Quality of Service (QS))
- Wirtschaft und Finanzen (Economic and financial (Fi))

Ebenso lassen sich die Kontextinformationen in sinnvolle Themengruppen gliedern. Diese Gliederung wird in den nachfolgenden Ansätzen ebenfalls aufgegriffen und an späterer Stelle erläutert.

Aufbau EffWB-Kennzahlen

Wie die meisten Benchmarking Konzepte in der Wasserwirtschaft baut das auch Projekt der EffWB auf das IWA-Kennzahlensystem auf. Das sogenannte Fachkonzept wurde bezüglich der Datenerfassung (neben Strukturdaten, Basisdaten und seiner Datenmodelle, Kennzahlen) um die vier Bereiche „Aufgabenkatalog und Aufgabenwahrnehmung“, „Organisationsqualität“, „Kooperation“, „Prozessdaten und Prozesse“ gegenüber dem IWA-Konzept erweitert. (RÖDL & PARTNER, 2000, S. 17) Im EffWB-Konzept orientiert sich die Gliederung der 54 Kennzahlen an den fünf Leistungsmerkmalen der Wasserwirtschaft und lautet: „Effizienz der Versorgung“ (20), „Sicherheit der Versorgung“ (10), „Qualität der Versorgung“ (12), „Nachhaltigkeit“ (12) sowie „Kundenservice“ (1-Indexzahl). (RÖDL & PARTNER, 2000, S. 23) In der letzten Hauptrunde 2013 wurde zudem ein Zusatzmodul zur Energieeffizienz angeboten.

Anhand der Kontextinformationen bzw. Strukturdaten werden auch hier die WVU in Vergleichsgruppen unterteilt. Ein maßgeblicher Unterschied besteht in der Größe des WVU bzw. dessen Infrastruktur und Wasserabgabemenge. Bei der Unterscheidung der WVU nach Unternehmensgröße bezogen auf die Netzeinspeisung in $\text{Mio. m}^3/\text{Jahr}$ werden im EffWB-Projekt vier Vergleichsgruppen mit $<0,5$; $<1,5$; $<2,5$ und $>2,5$ festgelegt (RÖDL & PARTNER, 2000, S. 30).

DVGW-Kennzahlensystem

Die Erfahrungen der Benchmarkingprojekte in den letzten Jahren führten bereits zur Verbesserung und Entwicklung der Kennzahlen und Vergleichsprozesse selbst. Die öffentliche Forderung nach mehr Transparenz in den WVU sowie die eher ungleichmäßigen

Teilnehmerquoten bezogen auf das gesamte Bundesgebiet unterstreichen jedoch den Bedarf stetiger Weiterentwicklung der Benchmarkingprozesse in der Wasserwirtschaft.

Vor diesem Hintergrund bildete der DVGW einen Arbeitskreis zur Entwicklung eines bundesweit gültigen, einheitlichen Kennzahlensystems. Hierbei wurden die bereits bekannten, verwendeten Kennzahlen mit eingebunden und teilweise überarbeitet bzw. begrifflich angepasst. Ergebnisse des Arbeitskreises sind das Merkblatt W 1100-2 „Definition von Hauptkennzahlen in die Wasserversorgung“ und das Merkblatt W 1100-3 „Strukturmerkmale der Wasserversorgung“.

Abbildung 6 zeigt den strukturellen Aufbau des Kennzahlensystems sowie die Einordnung in einen Gesamtkontext. Der mittlere Bereich bildet die Kennzahlen und Strukturmerkmale ab, welche für das Unternehmensbenchmarking eingesetzt werden.

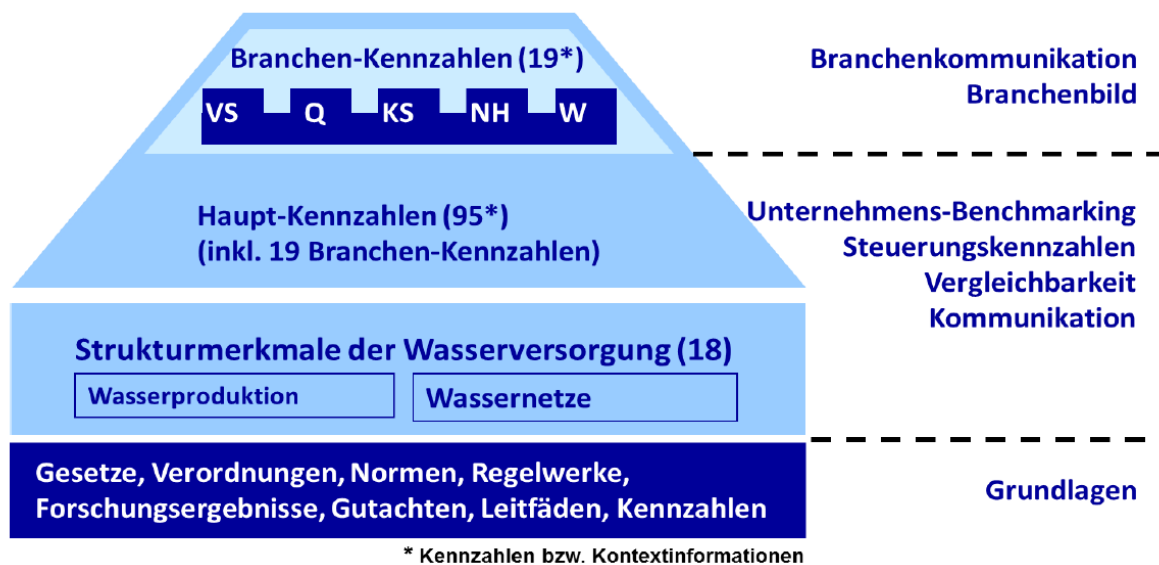


Abbildung 6: Kennzahlensystem der deutschen Wasserversorgung (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 5)

Ähnlich dem IWA-Konzept und dem Ansatz in der EffWB sind die Kennzahlen nach den fünf Leistungsmerkmalen der Wasserversorgung:

- Versorgungssicherheit (VS)
- Qualität (Q)
- Kundenservice (KS)
- Nachhaltigkeit (NH)
- Wirtschaftlichkeit (W)

gegliedert, wobei die Gesamtheit einen ganzheitlich nachhaltigen Ansatz verfolgt, der die Zusammenhänge und Abhängigkeiten darstellt. Zur Steigerung der Gesamteffizienz ist es sinnvoll in allen Merkmalsbereichen ein Optimum anzustreben, welches aus Unternehmenssicht realisierbar ist.

Innerhalb der fünf Merkmalsgruppen sind 95 Kennzahlen als sogenannte Hauptkennzahlen definiert, unter welchen sich ebenfalls die 19 sogenannten Branchenkennzahlen befinden. Die Branchenkennzahlen sind eine Auswahl von Kennzahlen, über die sich die Wasserversorgung repräsentativ in der Öffentlichkeit darstellen lässt. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 10) Die Bezeichnung und Berechnung der Kennzahlen selbst ist eng verknüpft mit dem bereits beschriebenen IWA-Kennzahlensystem.

Die Strukturmerkmale sind entlang der Wertschöpfungskette in die zwei Bereiche der Wasserproduktion und Wassernetze gegliedert. Sie dienen wie zuvor beschrieben der Einordnung des eigenen Unternehmens in geeignete Vergleichsgruppen mit ähnlichen Rahmenbedingungen.

Das hier beschriebene Kennzahlensystem und seine zwei Merkblätter sollen in dieser Arbeit als Grundlage zur Berechnung von Kennzahlen und Strukturmerkmalen dienen. Eine Auswahl soll für einen unternehmensinternen Kennzahlenvergleich zur Bewertung des Verteilungssystems genutzt werden. Auf die detaillierte Beschreibung, Anwendbarkeit und Berechnungsansätze der einzelnen Kennzahlen und Strukturmerkmale wird daher an späterer Stelle dieser Arbeit im Kapitel Methodik eingegangen.

4 FERNWASSERVERSORGUNG FRANKEN – EINGLIEDERUNG UND STRUKTUR

Im bundesweiten Vergleich ist die Wasserwirtschaft in Bayern mit über 2.500 WVU sehr kleinteilig strukturiert, womit zwar das Prinzip der ortsnahen Versorgung im Großteil des Bundeslandes umgesetzt, jedoch nicht immer die höchste Effizienz erzielt werden kann. (VBEW, 2009, S. 9)

Ebenso wie die größer organisierten WVU müssen auch kleinere WVU die strengen Vorschriften einhalten. Die qualitativ hohen Anforderungen an die Wasseraufbereitung stellen häufig für die kleinen WVU häufig eine große Herausforderung dar. Hinzu kommt, dass die räumliche Wasserverfügbarkeit sehr unterschiedlich ausfällt und manche Regionen aufgrund einer sehr kleinen Wasserneubildungsrate als Wassermangelgebiete eingestuft werden. In Nordbayern führte dies in den 50er Jahren dazu, dass größere Zweckverbände gegründet wurden, die das Wasser überregional aus wasserreichen Gebieten zu den Städten und Gemeinden in wasserarme Gebiete transportieren. (LFU-SCHULTHEISS, 2012, S. 13)

4.1 Entstehung der FWF

Der Zweckverband Fernwasserversorgung Franken ist als Körperschaft des öffentlichen Rechts mit Hauptsitz in Uffenheim organisiert. (FWF [A], 2016) Die FWF wurde bereits vor über 60 Jahren am 14. Juni 1951 zunächst als „Wasserversorgung Mittelfranken West“ ins Leben gerufen. Der Bedarf einer Fernwasserversorgung für den Raum Mittelfranken wurde bereits in den 30er Jahren festgestellt, da aufgrund des geringen Niederschlags, des schlechten Speichervermögens der Gips-Keuperregion und der damit verbundenen geringen Grundwasser-Neubildung ein akuter Wassermangel herrschte. (VBEW, 2009) Die Niederschläge liegen in Franken jährlich bei ca. 650 Millimetern pro Jahr und sind im Vergleich zu z.B. Oberbayern mit über 2.000 Millimetern sehr gering. Der GW-Neubildung steht hiervon lediglich ca. ein Viertel zur Verfügung. (LFU-SCHULTHEISS, 2012, S. 26)

In der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg, mit Blick auf die wachsenden Bevölkerungszahlen, haben die ansässigen Landkreise, Städte und Gemeinden die Initiative ergriffen, einen Zweckverband zu gründen mit dem Ziel, Trinkwasser in ausreichender Menge und Qualität für Haushalte, Industrie und Gewerbe in der Region zur Verfügung zu stellen. (VBEW, 2009) Heute wird der Zweckverband FWF nach dem bayerischen Gesetz über die kommunale Zusammenarbeit (KommZG), der bayerischen Eigenbetriebsverordnung (EBV) sowie der aktuellen Verbandssatzung geführt. (FWF [A], 2016)

Im Laufe der Zeit sind die Anforderungen an die Wasserversorgung stetig gewachsen und mit ihr der Aufwand bezüglich Verwaltung sowie qualitativer und quantitativer Wassersicherstellung. Dies führte teilweise dazu, dass kleine WVU die hohen Standards oder die geforderten Wassermengen nicht aus eigener Kraft erfüllen konnten. Der Anschluss bzw. Zusammenschluss vieler kleiner bis mittlerer Abnehmer ließ die FWF daher ebenfalls stetig größer werden. (AQUABENCH, 2016, S. 32; LFU-SCHULTHEISS, 2012, S. 32)

Heute umfasst das Verbandsgebiet der FWF eine Fläche von ca. 4.500 Quadratkilometern (FWF-Lovion-GIS) mit über 146 Städten und Gemeinden und 400.000 Einwohnern, von denen ca. 325.000 von der FWF versorgt werden. (FWF, 2016) Innerhalb des Verbandsgebietes gibt es jedoch Städte und Gemeinden, die nach wie vor ihre eigene Wasserversorgung haben oder von der FWF eine Teilversorgung erhalten.

4.2 Nordbayerisches Ausgleichs- und Verbundsystem

Im Zeitraum zwischen 1935 und 1966 entstanden aus dem Zusammenschluss verschiedener Städte und Landkreise neben der FWF weitere Wasserzweckverbände bzw. FWVU in Nordbayern. Zu Beginn konnten die jeweiligen FWVU den Bedarf im Verbandsgebiet durch das eigene Dargebot gut decken. Der Anschluss weiterer Abnehmer, die steigende Wassernachfrage der Bevölkerung sowie der Wirtschaft in den Jahren bis ca. 1985 führten in einigen FWVU (FWF, FWO, FWM) zu so hohem Wasserbedarf, dass dieser nicht mehr aus den verbandseigenen Erschließungen gedeckt werden konnte. Die Gewinnung in den wasserarmen Gebieten musste zudem aus qualitativen Gründen reduziert werden. Auf der anderen Seite war das Wasserdargebot in andern FWVU Nordbayerns (WFW, BRW, RBG) mehr als ausreichend für deren Bedarf, so dass ein Überschuss vorhanden war.

Diese Konstellation wurde genutzt, um ein Ausgleichs- und Verbundsystem mit den benachbarten FWVU zu gründen, welches sich in den vergangenen Jahren stets weiterentwickelt hat. Das heutige nordbayerische Ausgleichs- und Verbundsystem besteht aus folgenden Zweckverbänden:

- Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum (WFW)
- Fernwasserversorgung Franken (FWF)
- Fernwasserversorgung Oberfranken (FWO)
- Reckenberg-Gruppe (RBG)
- Fernwasserversorgung Mittelmain (FWM)
- Bayerische Rieswasserversorgung (BRW)

(LFU-SCHULTHEIß, 2012)

Im Zuge der Neuordnung des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft im Jahr 2000 wurde eine neue Stelle eingerichtet, die sich mit rechtlichen, wasserwirtschaftlichen und ökonomischen Fragestellungen Nordbayerns befasst. Die auf Ebene der Wasserwirtschaftsämter angestoßene Neuordnung führte im Jahr 2005 zu der Vereinbarung der FWVU, die sogenannte „Arbeitsgemeinschaft zum Ausgleich und Verbund in der Wasserversorgung in Nordbayern“ (ARGE WV Nordbayern) zu gründen. Diese dient v.a. der langfristigen Versorgungs- und Planungssicherheit, der Bearbeitung von unternehmensübergreifenden Themen und dem Erfahrungsaustausch. (LFU-SCHULTHEIß, 2012, S. 9)

Die Abbildung 7 zeigt einen Überblick der FWVU, deren Lage, einen Vergleich zwischen Dargebot und Bedarf sowie die Verbindungen der FWVU untereinander. Es ist zu erkennen, dass bei den südlicheren FWVU das Dargebot über dem Bedarf liegt, weshalb ein Ausgleich zu den nördlich gelegenen FWVU möglich ist.

Die WFW versorgt u.a. die größeren Städte Nürnberg, Schwabach, Erlangen und hat mit dem Verbund zur FWF, FWO und RBG eine der größten Wasserabgaben. Die FWO sowie FWF gehören ebenfalls zu den größeren FWVU in diesem Verbund. Die in der Abbildung 7 nordwestlich zu findende RMG (Rhön-Maintal-Gruppe) ist zwar Mitglied der ARGE-Nordbayerns, jedoch nicht im Verbund mit den benachbarten FWVU und somit nicht im Ausgleichs- und Verbundsystem. (LFU-SCHULTHEIß, 2012, S. 31)

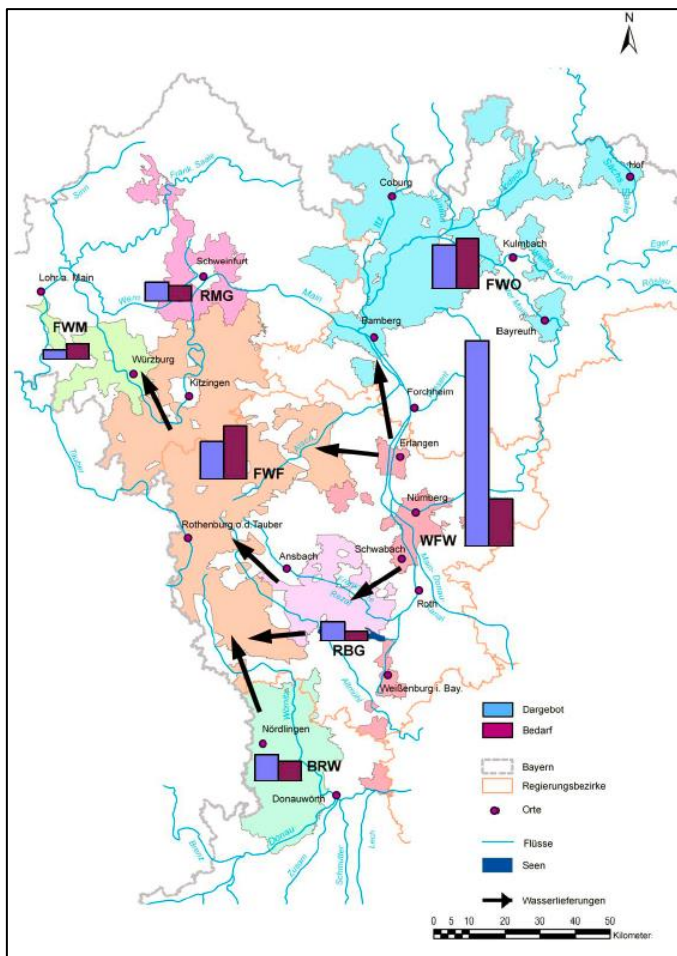


Abbildung 7: Nordbayerisches Ausgleichs- und Verbundsystem – Vergleich Dargebot mit Bedarf im Jahr 2003 (LFU-SCHULTHEIS, 2012, S. 28)

Die FWF ist für den Wasserbezug im Verbund mit der WFW, RGB sowie mit der BRW und steht der FWM als Wasserlieferant zur Verfügung. Die Bezugs- und Abgabemengen sind in sogenannten Wasserlieferungsverträgen vereinbart. Die auf mehrere Jahre ausgelegten Verträge dienen ebenfalls langfristiger Planung der Wasserbilanz, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Im Jahr 2009 beschloss die ARGE-WV Nordbayern, sich mit dem Thema „Notfallmanagement und Notfallszenarien im Verbundsystem“ nach dem DVGW-Hinweis W 1001 und DVGW-Merkblatt W 1002 gezielt auseinanderzusetzen. Hierzu gehörten u.a. eine Schwachstellenanalyse der einzelnen Verbände sowie eine Risikoabschätzung, inwieweit durch vorhandene redundante Systeme Versorgungsausfälle im Notfall vermieden werden können. Anhand von Ausfallszenarien ganzer FFWU, dem Verbund oder eigener Gewinnungsanlagen, wurden mögliche Notfallszenarien betrachtet. Die FFWU waren dazu aufgefordert, nach festgelegten Gesichtspunkten ihre Anlagen zu überprüfen und anhand potentieller Auswirkungen eine Gefährdungsbeurteilung aufzustellen. Die Studie konnte Anfang 2016 abgeschlossen werden und hat gezeigt, dass das Ausgleichs- und Verbundsystem sowie die einzelnen FFWU im Normalbetrieb insgesamt gegenüber Risiken gut gewappnet sind. Die Bewertung ergibt für keines der ARGE-Mitglieder einen unmittelbaren Handlungsbedarf. Aufgrund der hohen Qualität der Betriebsorganisation sowie die nach den a.R.d.T. betriebene Instandhaltung, ist die Wahrscheinlichkeit von ungeplanten Versorgungsunterbrechungen mit hohem Schadensausmaß sehr gering. (POHL, 2016) Als eine der wenigen potentiellen Risiken im Verteilungssystem wird bei der Einzelbewertung der FFWU ein ungeplanter Ausfall von

Hauptversorgungsleitungen aufgrund von z.B. Alterungs- oder Korrosionsprozessen benannt. Für fast alle FWVU und v.a. für die FWF sollte diesem Bewertungspunkt eine kontinuierliche Aufmerksamkeit gewidmet werden. (POHL, 2016)

Die Studie der ARGE-WV Nordbayern zeigt, dass die FWF auf Verbandsgebietsebene gegenüber Ausfallrisiken gut aufgestellt ist und auch durch den Ausgleich und Verbund eine gute Redundanz für Krisenfälle besitzt. Um diese Sicherheit für alle Abnehmer im FWF-Gebiet zu garantieren, sollten die Aspekte in einer internen Untersuchung auf der nächstkleineren Ebene der VB analysiert werden. Diese Überlegung sowie das Ergebnis der Studie über Risiken im Verteilungssystem, aufgrund von Leitungsalterung und -Korrosion, waren ebenfalls Denkanstöße für diese Arbeit.

4.3 Versorgungstechnische Struktur und Gliederung des FWF Gebiets

Das Verbandsgebiet der FWF ist aktuell hydraulisch in neun Versorgungsbereiche (VB) gegliedert, welche sich nochmals in ein oder mehrere Versorgungszonen (VZ) unterteilen lassen. Die Versorgungsbereiche (s. Tabelle 2) sind Bereiche gleicher Wasserqualität, d.h. das Wasser wird für diesen Bereich zentral überwacht ggf. aufbereitet und gemischt, bevor es in das für diesen Bereich hydraulisch getrennte Transportnetz eingespeist wird. (BOH-FWF et al., 2015) Die Versorgungszonen sind Zonen gleichen Drucks, welche i.d.R. einem zentralen Hochbehälter (HB) zugeordnet sind (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Bereiche und -zonen der FWF (Eigene Darstellung nach BOH-FWF et al., 2015)

| VB | Versorgungsbereich | Versorgungszone | Leitungs-ID | Rohrnetzbezirk |
|----|-------------------------|----------------------|-------------|----------------|
| 1 | Volkach | Michelau | L011 | Hüttenheim |
| | Volkach | Dipbach | L012 | Hüttenheim |
| | Volkach | Gaibach | L013 | Hüttenheim |
| | Volkach | Wiebelsberg | L014 | Hüttenheim |
| 2 | Sulzfeld | Neuhof | L021 | Hüttenheim |
| | Sulzfeld | Landturm | L022 | Hüttenheim |
| | Sulzfeld | Sulzdorf/ Aufstetten | L023 | HH/ GOL |
| | Sulzfeld | Hüttenheim | L024 | Hüttenheim |
| | Sulzfeld | Wolfsberg | L025 | Hüttenheim |
| | Sulzfeld | Frankenberg | L026 | HH/GOL/UF |
| 3 | Uehlfeld | Weisachgrund | L031 | HH/Uehlfeld |
| | Uehlfeld | Häckerwald HB | L032 | Uehlfeld |
| 4 | Hüttendorf | Brandhof HB | L041 | Uehlfeld |
| | Hüttendorf | Brandhof WT | L042 | Uehlfeld |
| | Hüttendorf | Häckerwald WT | L043 | Uehlfeld |
| 6 | Elpersdorf | Endsee | L061 | Gollhofen |
| | Elpersdorf | Sontheim | L062 | Uehlfeld |
| | Elpersdorf | Colmberg | L063 | Gollhofen |
| | Elpersdorf | Weinberg | L065 | Haslach |
| 7 | Haslach | Oestheim | L071 | Gollhofen |
| | Haslach | Glashofen | L072 | Haslach |
| | Haslach | Schnelldorf | L074 | Haslach |
| | Haslach | Wachsenberg | L075 | Gollhofen |
| 8 | Matzmannsdorf | Beyerberg | L081 | Haslach |
| 9 | Arberg | Arberg | L092 | Haslach |
| 11 | Schopflohe | Schopflohe | L111 | Haslach |
| 5 | *Bereich reserviert für | Gollhofen | L051 | Gollhofen |
| 10 | *Bereich reserviert für | Karlzholz | L101 | Haslach |

Das Wasser der FWF wird teilweise aus eigenen Gewinnungsanlagen gefördert und teilweise, wie zuvor beschrieben, von benachbarten Fernwasserversorgern bezogen. In einigen VB ist es notwendig Eigenwasser mit Fremdwasser zu ergänzen. Unter Berücksichtigung der qualitativen Parameter entsteht hierbei ein sogenanntes Mischwasser.

Die FWF fördert ihr Eigenwasser in den vier Gewinnungsgebieten Sulzfeld/ Marktsteft; Volkach/ Astheim; Uehlfeld sowie Haslach/ Matzmannsdorf aus insgesamt 53 Brunnen unterschiedlichen Typs und aus unterschiedlichen Gesteinsschichten. In den Wasserwerken (WW) findet je nach Wasserqualität eine primäre und weiterführende Aufbereitung durch z.B. Belüftung (Fe, Mn Abscheidung), Sandfilter oder Aktivkohle-Filter statt.

Der Fremdwasserbezug erfolgt über die benachbarten Versorger WFW, RBG sowie BRW. Die Mindest- und Maximalabnahmemengen sind in verschiedenen Wasserlieferungsverträgen über längere Zeiträume festgelegt, die sich bei gleichbleibenden Bedingungen i.d.R. automatisch verlängern.

Das Transport- und Verteilungssystem besteht aus insgesamt ca. 1100 Kilometern Leitungslänge, sieben Wassertürmen, 44 Wasserbehältern und 35 Pumpwerken sowie 671 Abgabestellen (AGS). (VBEW, 2009) Die jährlichen Wasserabgaben belaufen sich auf ca. 16 bis 17 Mio. Kubikmeter, was zu einer durchschnittlichen Tagesmenge von 40.000 bis 50.000 Kubikmeter führt.

Die Wasserabgabe erfolgt bis auf wenige Ausnahmen an Weiterverteiler wie Städte und Gemeinden. Die Übergabe findet an den AGS statt, welche das FWF Fernwasser-Leitungssystem von den Verteilungs- oder Ortsnetzen trennt. Die Abgabemengen werden ebenfalls über längerfristige Wasserlieferungsverträge festgelegt. Allgemein sind die Verträge so aufgebaut, dass tägliche und jährliche Mindest- und Maximalwassermengen zu einem bestimmten Preis pro Kubikmeter festgelegt werden. Bei Überschreitung der täglichen oder jährlichen Höchstwassermenge fällt ein gesonderter Wassertarif an. Die Mindest- und Maximalwassermengen, die mit Einschätzung des Abnehmers festgelegt werden, dienen der besseren Planung für die Wasserbereitstellung bzw. der infrastrukturellen Auslegung.

Normalbetrieb

Wie in der Definition festgelegt bedeutet der Normalbetrieb der Versorgungsbereiche, dass eine klare hydraulische Trennung, bezogen auf die einheitliche Wasserqualität, stets eingehalten wird. Je Versorgungsgebiet gibt es festgelegte Betriebs- und Organisationsabläufe, die sich auf die Wasserförderung, Aufbereitung und die Verteilung anwenden lassen. Bei Versorgungsbereichen mit Eigenwasserbezug wird das Wasser nach der Förderung und Aufbereitung vom Saugbehälter über Pumpen in die Versorgungszonen und weiter zu zentralen HB gepumpt. Während die HB gefüllt werden, findet die Versorgung für einige Zonen über den Pumpendruck statt, bei abgestellten Pumpen fließt das Wasser im freien Gefälle zu den Abgabestellen. In Fällen in denen es einer Weiterförderung oder Druckerhöhung bedarf, sind entweder die HB mit weiteren Pumpen ausgestattet oder es sind sogenannte Druckerhöhungsanlagen (DEA oder DBPW) zwischengeschaltet.

Die Pumpen im Wasserwerk sowie in den HB werden im Normalbetrieb abhängig von den eigenen Pegelständen oder denen der Zielbehälter gesteuert. Unterschreitet beispielsweise ein bestimmter Wasserstand eine Grenzhöhe im HB, wird automatisch ein Signal an die Pumpe im WW gesendet, die solange fördert bis ein vorgegebener Wasserstand erreicht wird. Je Tages-

oder Nachtzeit, der damit verbundenen Verbrauchssituation oder der Stromtarife sind unterschiedliche Zielpegelstände maßgebend.

Notversorgung

In Fällen einer planmäßigen Betriebsänderung aufgrund von Engpässen, Baumaßnahmen, Leitungsspülungen, Brunnenpumptesten, wirtschaftlichen Aspekten oder unplanmäßiger Versorgungsunterbrechung aufgrund von Rohrbrüchen oder Betriebsstörungen, kann eine „Notversorgung“ oder abweichende Betriebsführung in den VB veranlasst werden. Diese ist i.d.R. damit verbunden, dass eine oder mehrere Verbindungen zwischen zwei benachbarten VB genutzt werden, um den jeweiligen Bedarf zu decken. Die eigentlich getrennten Systeme werden hierdurch über sogenannte Verbundleitungen miteinander verbunden. Dadurch können einige Leitungen eine besondere versorgungstechnische Bedeutung erhalten. Bezogen auf das gesamte Verbandsgebiet können Not- und Ausgleichsversorgungen über Verbundleitungen nach dem bereits beschriebenen Prinzip zwischen den benachbarten FWVU sichergestellt werden.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Versorgungsbereiche nochmals detaillierter beschrieben, um die strukturellen Unterschiede und betrieblichen Situationen besser nachvollziehen zu können. Die VB sind gleichzeitig die Ebene, auf der der spätere Kennzahlenvergleich erfolgt. An dieser Stelle wird eingegangen auf die Ausgangslage, die Betriebsführung, die tatsächlichen Verknüpfungen der VB sowie aktuelle und zukünftige Entwicklungen. Die Beschreibung basiert auf dem Betriebs- und Organisationshandbuch (BOH) Teil 2 Wasser der FWF, dem unternehmensinternen GIS (Lovion) sowie Informationen und Ergänzungen aus Experteninterviews mit den Mitarbeitern der FWF.

4.3.1 Versorgungsbereich Volkach

Der VB Volkach befindet sich am oberen, nördlichen Rand des Verbandgebietes und ist anhand der Fläche mit 538 km² im Vergleich als mittelgroß einzuordnen. Der VB bezieht Grundwasser (GW) im Normalbetrieb aus 17 Vertikalbrunnen, welches im namensgebenden Wasserwerk (WW) Volkach aufbereitet wird. Zur Aufbereitung werden Quarzsandfilter, Ozon-Reaktoren und Aktivkohle Filter sowie Chlordioxid zur Desinfektion verwendet. Vom WW Volkach wird das Wasser in zwei Richtungen zum Wasserturm (WT) Dipbach und HB Gaibach bzw. Wiebelsberg gepumpt. Die einzelnen HB bilden die vier Versorgungszonen bzw. Druckzonen, in die sich der VB untergliedert (s. Tabelle 2). (BOH-FWF et al., 2015, 6 ff)

Das Fernleitungssystem ist so aufgebaut, dass zwischen dem WT Dipbach und dem Fremdhochbehälter Dettelbach eine Verbindung zum benachbarten VB Sulzfeld möglich, im Normalbetrieb jedoch geschlossen ist. Eine weitere Verbindung zwischen den benachbarten VB könnte im Notfallbetrieb zwischen dem HB Wiebelsberg und dem HB Wolfsberg über den Schacht der Abgabestelle (AGS) Unteramsbach hergestellt werden.

Seit dem Jahr 2010 werden durch eine Betriebsumstellung einige AGS aus dem VB Sulzfeld vom VB Volkach versorgt, wodurch sich der VB Volkach um den Versorgungsast vom WT Dipbach bis AGS Brück vergrößert hat. Für die FWF hat sich hierdurch in der Summe nichts geändert, die Abgaben des WW Volkach haben sich jedoch leicht erhöht.

In den letzten Jahren fanden Umbau- bzw. Erneuerungsmaßnahmen im VB Volkach statt, denen gegenwärtig weitere folgen. Hierzu gehören u.a. Rehamaßnahmen der Leitungen, die Umstellung der Steuerungsanlagen bzw. SPS-Anlagen (Speicherprogrammierbare Steuerung), der Umbau der Brunnengalerie in Volkach sowie der aktuelle Umbau der Brunnengalerie auf der gegenüberliegenden Mainseite in Astheim.

Bezüglich der Abnahmemengen ist zu erwarten, dass im VB Volkach zurzeit teilversorgte Gemeinden künftig von der FWF vollversorgt werden.

Solche internen Umstrukturierungen, Baumaßnahmen und Neuanschlüsse können dazu führen, dass bei Betrachtung der Wasserbilanzen von VZ oder VB zunächst unerklärliche Schwankungen sichtbar werden. Daher ist es für die diffizile Betrachtung sinnvoll, dass diese bekannt sind und berücksichtigt werden.

4.3.2 Versorgungsbereich Sulzfeld

Der VB Sulzfeld liegt im oberen Teil des Verbandsgebiets und ist mit 1.509 km² und einer jährlich durchschnittlichen Abgabemenge von ca. 7 Mio. Kubikmeter Wasser der flächenmäßig und mengenmäßig größte VB der FWF.

Das Wasser wird seit Anfang 2016 in einem Mischungsverhältnis 1:1 Eigenwasser/, Fremdwasser über das WW Sulzfeld zu den einzelnen HB bzw. AGS verteilt. Die Eigengewinnung erfolgt über zwei Horizontalfilterbrunnen und vier Vertikalfilterbrunnen, die das GW in verschiedenen Tiefen erschließen. Im WW findet vor der Mischung mit dem Fremdwasser eine Aufbereitung über Oxidation und Sandfilter sowie eine abschließende Desinfektion mit Chlordioxid statt.

Der bereits aufbereitete Fremdwasseranteil wird über eine insgesamt 65 km bzw. ab HB Brandhof 52 km lange Beileitung über den VB Hüttendorf vom Zweckverband WFW bezogen und zum WW Sulzfeld transportiert, von wo aus es im zuvor genannten Mischungsverhältnis wieder verteilt wird. Ein Teil des WFW Wassers wird bereits für die Versorgung des VB Hüttendorf genutzt. Eine Direktabnahme aus der Beileitung findet nur im Ausnahmefall statt. Sie dient in diesem Fall als Zusatzwasserabgabestelle für die Stadt Neustadt a. d. Aisch und die Ortschaft Hohenholz und ist im Normalbetrieb nicht vorgesehen. (BOH-FWF et al., 2015, 7 ff)

Sulzfeld gliedert sich anhand der Haupthochbehälter in sechs Versorgungszonen, wobei sich zurzeit nicht alle VZ hydraulisch 100 prozentig trennen lassen. VZ Aufstetten/ Sulzdorf ist als eine Zone zusammengefasst, die Leitung zwischen WT Aufstetten und WT Sulzdorf ist jedoch aufgrund des höheren Drucks vom WT Aufstetten nur teilweise durchgängig. Ebenso besteht eine Druckverbindung zwischen der Zone Aufstetten und Frankenberg für den sogenannten „Rodheimer-Ring“.

Neben der Beileitung mit WFW Wasser kann eine bereichsübergreifende Verbindung zu Volkach (vgl. VB Volkach), Uehlfeld sowie Elpersdorf hergestellt werden. Zwischen dem HB Endsee über das Pumpwerk Gollhofen zum HB Frankenberg sowie zwischen HB Endsee und WT Aufstetten besteht eine Verbindung, die für unplanmäßige Vorkommnisse die Versorgung im entsprechenden VB aufrechterhalten kann. Weiterhin besteht eine Verbindung bei der AGS Lenkersheim zwischen dem HB Sontheim und HB Herbolzheim.

Eine Besonderheit im VB Sulzfeld ist die Wasserabgabe an die benachbarte Fernwasserversorgung Mittelmain FWM, die über den HB-Neuhof erfolgt. Mit ca. zwei Mio. Kubikmeter jährlich ist die FWM gleichzeitig der größte Abnehmer der FWF.

In Sulzfeld finden aktuell ebenfalls Umstellungen der SPS-Anlagen von S5 auf S7 und der Steuerungstechnik in der Aufbereitung statt. Für die Entwicklung dieses VB ist zu berücksichtigen, dass die Wasserlieferungsverträge innerhalb der nächsten 10 Jahre auslaufen und über Mengen ggf. neu verhandelt werden kann. Eine Erweiterung der Wasseraufbereitung wird ebenfalls im Zuge der FWF-Studie an anderer Stelle untersucht.

4.3.3 Versorgungsbereich Uehlfeld

Der VB Uehlfeld gehört zu einem der drei VB, welche im Normalbetrieb ihren gesamten Bedarf aus Eigenwasser beziehen. Der VB liegt im nordöstlichen Bereich des Verbandsgebietes, umfasst eine Fläche von ca. 480 km² und beheimatet u.a. die Stadt Neustadt a. d. Aisch.

Das aus den 12 Brunnen, 30-50 Metern Tiefen geförderte Grundwasser stammt vorwiegend aus den quartären Talfüllungen der Aisch und kann bei HW-Ereignissen durch mikrobiologische oder organische Belastungen negativ beeinflusst werden. Als weiteres Gefährdungspotential für das GW ist eine unmittelbar an die Schutzzone grenzende Asphaltmischanlage identifiziert worden. Die erforderliche Aufbereitung des Wassers erfolgt daher über eine Belüftung im geschlossenen Gleichstromoxidator, Sandfiltration, Aktivkohlefiltration sowie Desinfektion mit Chlordioxid. (BOH-FWF et al., 2015)

Mit einer rechtlich bewilligten maximalen Eigenwasserentnahmemenge von 1,58 Mio. Kubikmeter pro Jahr liegt der VB auch mengenmäßig im mittleren Bereich. Vom WW Uehlfeld wird das Wasser in zwei Hauptförderrichtungen in die zwei Versorgungszonen Waisachgrund und HB Häckerwald gepumpt.

An der südwestlichen Spitze der VZ HB Häckerwald besteht am AGS Lenkersheim eine Verbindung zum VB Elpersdorf bis zum HB Sontheim. Im Rohrkeller des HB Häckerwald besteht eine weitere Verbindung zum danebenliegenden WT Häckerwald, welche gleichzeitig die Verbindung zum VB Hüttendorf darstellt. Diese zwei Verbindungen können jeweils in beide Richtungen für die Notversorgung der VB genutzt werden. Mit Hilfe von sogenannten fliegenden Leitungen kann zudem eine Einspeisung von der Beileitung in den HB Häckerwald erfolgen. Der VB Uehlfeld besitzt somit Verbindungen zu den VB Elpersdorf, Häckerwald und indirekt zum VB Sulzfeld. Bei Bedarf ist es ebenfalls möglich, Wasser über den HB Häckerwald zum WW Uehlfeld zu leiten, um so die Zone Waisachgrund zu versorgen. (BOH-FWF et al., 2015)

Die Entwicklungen der letzten Jahre im VB Uehlfeld befassten sich v.a. mit der Erweiterung der rechtlich gesicherten Entnahmemengen, dem Neubau eines 13ten Entnahmebrunnens, (BOH-FWF et al., 2015) sowie der Ausweisung neuer Wasserschutzgebiete. Die aktuelle Genehmigung der Entnahmerechte ist bis Ende 2021 festgelegt, so dass auch hier ggf. vertragliche Änderungen für die weitere Planung berücksichtigt werden sollten.

Potential für Neuanschlüsse an die FWF bieten die Gemeinden Münchsteinach, Baudenbach und Markt Taschendorf im nordwestlichen Bereich des VB.

4.3.4 Versorgungsbereich Hüttendorf

Der VB Hüttendorf lässt sich mit einer Fläche von ca. 298 Quadratkilometern und einer durchschnittlichen Abgabe von knapp 700 m³/a zwischen den mittleren und kleinen VB einordnen. Dennoch wird über den direkten Anschluss an den gleichnamigen HB Hüttendorf das zweitgrößte Dargebot der FWF vom Zweckverband WFW eingespeist, welches wie bereits beschrieben, zu großen Teilen weiter in den VB Sulzfeld geleitet wird. Die Versorgung im VB erfolgt somit im Normalbetrieb vollständig über den Fremdwasserbezug der WFW. Der VB gliedert sich in die drei VZ HB Brandhof, WT Brandhof sowie die Zone zum zuvor angesprochenen WT Häckerwald. Zentrale Rolle spielt der HB Brandhof, der vom HB Hüttendorf gespeist wird. Er versorgt die zwei anderen Zonen und dient gleichzeitig der Durchleitung zur Beileitung Richtung VB Sulzfeld. (BOH-FWF et al., 2015)

Ein interner Notverband besteht, wie bereits beschrieben, zum VB Uehlfeld über den WT Häckerwald, der mit dem HB Häckerwald verbunden ist. Außerdem kann im begrenzten Umfang

eine Verbindung zum HB Gommersdorf der benachbarten Dillenberggruppe hergestellt werden. (BOH-FWF et al., 2015)

Eine weitere Besonderheit ist, dass innerhalb des Gebiets des VB der Zweckverband Wasserversorgung „Markt Erlbacher Gruppe“ als eigenständiger Zweckverband arbeitet. Eine Kooperation birgt weiteres Entwicklungspotential im VB Hüttendorf.

4.3.5 Versorgungsbereich Elpersdorf

Elpersdorf ist einer der größeren VB und nimmt mit 746 km² einen großen Teil des südlichen Bereichs des Verbandsgebietes ein. Die durchschnittliche Abgabemenge von ca. 2,6 Mio. m³/a wird im Normalbetrieb komplett von der benachbarten RBG bezogen. Das maximale Gesamtbezugsrecht von 5,5 Mio. m³/a verteilt sich ebenfalls auf die VB Haslach und Arberg. Der VB Elpersdorf wird in vier VZ gegliedert.

Vom Einspeisepunkt am PW bzw. SB Elpersdorf (2.000 m³) wird das Wasser in zwei Förderrichtungen zum HB Colmburg und über den WT Herrieden zum WT Weinberg gepumpt.

Die VZ Weinberg erstreckt sich im Südwesten bis Glashofen und folgt im Süden dem sogenannten Elbersrother Ring, wobei das Wasser bei Pumpenstillstand wieder zurück Richtung Elpersdorf läuft. Im unteren Teil des Ringes bei Elbersroth kann über einen Abzweigschacht für einen Notverbund eine Verbindung zum VB Matzmannsdorf hergestellt werden. Ein weiterer Notverbund zum VB Haslach kann über das PW Glashofen erfolgen, von dem aus durch einfaches Umstellen die VZ Weinberg komplett versorgt werden könnte.

Die Förderrichtung Colmburg wird von drei Pumpen sichergestellt, einer drehzahlgeregelten (100-180 l/s) und zwei ungeregelten (130 l/s). Der Pumpendruck reicht aus, um den HB Colmburg sowie den HB Sontheim zu füllen, welche die Haupt-HB der VZ bilden. Vom HB Colmburg wird zudem der HB Steuerholz gefüllt, welcher über eine Leitung durch den VB Haslach den HB Endsee speist. Im HB Steuerholz besteht zudem die Möglichkeit einer Notversorgung zum VB Haslach, so dass von hier der HB Waxsenberg aus dem VB Elpersdorf befüllt werden kann. In der VZ Endsee im nördlichen Teil des VB kann über zwei unabhängige Leitungen ein Notverbund zum VB Sulzfeld erfolgen.

Die östlichste VZ Sontheim, welche vom HB Elpersdorf direkt oder über den HB Colmburg versorgt wird, beheimatet u.a. die Stadt Bad-Windsheim als einer der größeren Abnehmer. In dieser VZ besteht am AGS Kùhlsheim eine dritte Möglichkeit des Notverbundes zum VB Sulzfeld. Am AGS Lenkersheim besteht die Möglichkeit einer Notverbindung zum VB Uehlfeld.

Der VB Elpersdorf hat somit eine Vielzahl von Verbindungen zu den benachbarten VB für außerplanmäßige Versorgungssituationen. Diese redundanten Versorgungsmöglichkeiten werden u.a. auch bei Baumaßnahmen oder betriebsbedingten Änderungen genutzt.

Der sehr große VB umfasst derzeit noch eine Vielzahl an Gemeinden bzw. Ortsteilen, die noch nicht an die FWF angeschlossen sind. Da im VB Elpersdorf keine Eigengewinnung stattfindet, liegt der Fokus der Instandhaltung auf dem Verteilungssystem.

4.3.6 Versorgungsbereich Haslach

Der VB Haslach erstreckt sich im südwestlichen Bereich des Verbandsgebietes über eine Fläche von ca. 552 km² und gehört mit einer durchschnittlichen Abgabe von rund 2,3 Mio. m³/a zu den größeren VB. Er gliedert sich in die in Tabelle 2 aufgeführten vier Versorgungszonen.

In diesem VB wird ein Mischwasser aus Eigenwasser, Wasser der BRW sowie Wasser der RBG im Verhältnis 1:1:1 verteilt. Das Eigenwasser wird in acht Brunnen im gemeinsamen Gewinnungsgebiet Haslach/Matzmannsdorf gewonnen und im WW Haslach mit einem geschlossenen Gegenstromoxidator, Druckfilterkesseln und ggf. mit einer abschließenden Desinfektion mit Chlordioxid aufbereitet.

Nach Aufbereitung und Mischung mit dem Fremdwasser wird das Wasser vom WW Haslach mit drehzahlgeregelten Pumpen Richtung HB Glashofen gepumpt. Von hier wird das Wasser weiter in Richtungen HB Schnelldorf und HB Oestheim verteilt. Auf dem Förderstrang Richtung Oestheim wird zugleich der HB Dömbühl mit befüllt. Die VZ Schnelldorf endet gleichzeitig wieder in den HB Oestheim, wobei die Leitung durch ein sogenanntes Ringkolbenventil gedrosselt wird. Am HB Glashofen in der gleichnamigen VZ besteht ebenfalls die Möglichkeit eines Notverbunds mit dem VB Elpersdorf. Nördlichste VZ des VB Haslach ist die VZ Wachsenberg, die an die VZ Oestheim anschließt und u.a. Rothenburg o.d.T. als einen der größten Abnehmer versorgt. Im HB Wachsenberg ist eine Notverbindung mit dem HB Steuerholz möglich.

Durch die verschiedenen Verbundmöglichkeiten und die drei unterschiedlichen Bezugsquellen ist bei Ausfall einer Bezugsquelle der Ausgleich durch die übrigen Bezüge problemlos möglich. Der VB Haslach besitzt somit viele Redundanzen und eine gute Verknüpfung zu den übrigen VB. (BOH-FWF et al., 2015)

Die Entwicklungen bzw. die Instandhaltungsarbeiten der letzten Jahre konzentrierten sich v.a. auf den Bereich Leitungsrehabilitation, da große Teile des Leitungssystems im nördlichen Bereich aus Zeiten der Gründungsphase stammen.

4.3.7 Versorgungsbereich Matzmannsdorf

Der VB Matzmannsdorf im südöstlichen Bereich des Verbandsgebiets grenzt an die Versorgungsbereiche Haslach, Elpersdorf und Arberg. Er gehört bezogen auf die Abgabemenge (ca. 0,5 Mio. m³/a) und einer Fläche von nur ca. 148 km² zu den kleinen VB. Über fünf Brunnen, welche die Haslacher-Brunnenreihe fortsetzen, erfolgt die Eigenwasserförderung aus einer Tiefe von 30 - 80 Metern. Im Wasserwerk Matzmannsdorf wird das Wasser aufgrund des großen Anteils überschüssiger Kohlensäure über eine Belüftung entsäuert und das Kalk-Kohlensäuregleichgewicht ggf. durch eine Natronlaugendosierung eingestellt. (BOH-FWF et al., 2015)

Die Pumpen im WW fördern das Wasser ins Verteilungsnetz und zum maßgeblichen HB Beyerberg, der gleichzeitig Namensgeber für die mit dem VB identische und damit einzige VZ ist. Im Norden des VB bei Elbersroth kann eine Notversorgung zwischen Matzmannsdorf und Elpersdorf realisiert werden. Ein weiterer Notverbund besteht zum VB Arberg über das PW Ehingen am südlichen Rand des VB. (BOH-FWF et al., 2015) Die Stadt Ehingen selbst wird im Normalbetrieb jedoch vom VB Matzmannsdorf versorgt.

4.3.8 Versorgungsbereich Arberg

Der Versorgungsbereich Arberg liegt am südöstlichsten Zipfel des Verbandsgebiets und erstreckt sich lediglich über 44 km². Vom Fremdhochbehälter Arberg fließt das Wasser der benachbarten RBG an der Übergabestelle Eybburg in den VB Arberg zunächst Richtung PW Ehingen und von dort Richtung HB Karlsholz. Die Ortschaften vor der Übergabestelle Eybburg werden direkt von der RBG versorgt und abgerechnet, so dass der Ablauf vom HB Arberg nicht identisch ist mit dem Einlauf in den VB. Der geodätische Höhenunterschied reicht aus, um bis zu

30 l/s im freien Gefälle bis zum HB Karlsholz zu fördern. Bei erhöhtem Bedarf kann der Durchfluss im PW Ehingen auf bis zu 75 l/s erhöht werden. Die Abgabestellen zwischen AGS Eybburg und HB Karlsholz werden direkt mit dem RBG-Wasser versorgt und gehören dem VB Arberg an. Vom HB Karlsholz dient das Wasser dem VB Haslach zum anteiligen Mischungsverhältnis. Im VB Arberg verbleibt dadurch lediglich eine durchschnittliche Abgabe von knapp 70.000 m³/a.

Über das PW Ehingen kann zudem eine Notversorgung des VB Matzmansdorf erfolgen. Der VB Arberg kann wiederum ebenfalls vom HB Karlsholz mit Wasser der BRW notversorgt werden. (BOH-FWF et al., 2015)

4.3.9 Versorgungsbereich Schopflohe

Der Versorgungsbereich Schopflohe an der südwestlichen Spitze des Verbandsgebiets gehört mit nur 108 Quadratkilometern und einer mittleren jährlichen Abgabe von ca. 100.000 Kubikmetern zu den kleineren Einheiten. Das Wasser wird zu 100 Prozent vom Zweckverband BRW bezogen und ausgehend vom HB Schopflohe mit einem Fassungsvermögen von 2 x 1.000 Kubikmetern über das Pumpwerk Wolfsbühl an die AGS verteilt. Der größere Teil des Fremdwassers wird mit Zwischenstopp über den HB Karlsholz zum WW Haslach gefördert. Der VB kann bei Versorgungsunterbrechung mit Hilfe des PW Wolfsbühl auch vom HB Karlsholz versorgt werden, der ebenfalls vom VB Arberg oder Haslach gefüllt werden kann.

Die Stadt Dinkelsbühl, ebenfalls ansässig im VB Schopflohe, besitzt eine eigene Wasserversorgung. Damit bezieht diese Stadt inklusive aller Ortsteile zurzeit kein Wasser von der FWF.

4.4 Entwicklung der FWF - Studie 2040

Der Ansatz einer gezielten Planung für Erneuerungs- und Ergänzungsmaßnahmen innerhalb der FWF wird bereits seit mehreren Jahrzehnten verfolgt. Die „Studie 2000“ aus dem Jahr 1988 kann als Grundstein für die darauffolgende Studie 2020 und die aktuell geplante Studie 2040 angesehen werden. Bereits 1988 wurde auf Basis einer Wasserbedarfsprognose und einer Schadensstatistik der Bedarf an Instandhaltungs-, Erneuerungs- und Ergänzungsmaßnahmen für die Aufbereitung, Bauwerke, Schächte, Kabelstrecken und Rohrleitungen ermittelt. Diese erste größere Studie von 1988 deckte den Planungszeitraum bis zum Jahr 2000 ab.

Etwa bis Mitte/ Ende der 90er Jahre wurde hierauf aufbauend die Studie 2020 begonnen, deren Maßnahmenplanung noch aktuell verfolgt wird. Die Studie 2020 beinhaltete bereits eine etwas komplexere Berechnung des Wasserbedarfs für das Jahr 2020 sowie eine auf der Software WATERNET basierende hydraulische Rohrleitungs- und Behälterberechnung für zwei verschiedene Betriebszustände. Ein Großteil der in der Studie festgelegten und empfohlenen Maßnahmen konnten bis zum aktuellen Zeitpunkt kostengerecht und planmäßig umgesetzt werden.

Die auch in Zukunft weiter steigenden Anforderungen an die Wasserqualität, die Versorgungssicherheit, den Kundenservice, die interne Organisation sowie die Aspekte der Nachhaltigkeit bedeuten für die WVU eine stetige Aufrechterhaltung, Weiterentwicklung und ggf. Verbesserung der aktuellen Strukturen. Die aktuelle Studie 2040 soll daher an die vorangegangenen Studien anknüpfen und einen Rahmenplan für die nächsten Jahre bis 2040

bieten, der die künftigen Entwicklungen und Herausforderung der Wasserversorgung im Verbandsgebiet der FWF berücksichtigt. Hierzu gehören u.a. die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit und damit verbundene Substanzerhaltung sowie die Abschätzung zukünftiger Investitionskosten.

In Anlehnung an die Eigenbetriebsverordnung (EBV) zum Punkt „Berücksichtigung von Chancen und Risiken künftiger Entwicklungen“ und Sitzungen des Werkausschusses befasst sich die Studie 2040 u.a. mit den Themen

- Fortschreibung der Wasserbedarfsprognose
- Bedarfsdeckung durch eigene Wassergewinnung und Wasserbezug von Vorlieferanten
- Identifikation von Maßnahmen für Neubau, Rehabilitation und Erneuerung des Gewinnungs-, Verteilungs- sowie Kabelleitungssystems
- Wirtschaftlichkeit und Finanzierungsmöglichkeiten (u.a. Wassertarifstruktur)
- Ausbau und Neuabschluss von Kooperationen, Betriebsführungen und Dienstleistungen.“ (WERKAUSSCHUSS, 2015, S. 1f; EBV, 2014, S. 7)

Eine bereits im Rahmen dieser Studie durchgeführte Kundenumfrage aus dem Jahr 2015 liefert erste allgemeine Informationen, ein Meinungsbild der Kunden sowie deren Erwartungen. Zum Thema Mikroverunreinigung und zukünftiger Herausforderungen in der Aufbereitung wurde bereits im Rahmen der Studien eine Arbeit mit dem VB Sulzfeld durchgeführt.

Als weiterer Bestandteil der Studie 2040 sollen auch die Ergebnisse dieser Arbeit dienen. Neben dem Untersuchungsfokus des Rohrleitungssystems können die Bearbeitungspunkte und Ergebnisse aus Wassermengenbilanz oder Wasserbedarfsprognose mit in die Gesamtbetrachtung einbezogen werden. Diese Arbeit hat jedoch nicht den Anspruch die Bewertung des Verteilungssystems der Studie 2040 zu ersetzen. Vielmehr soll sie als Grundlage, Zwischen- oder Teilergebnis in die Studie eingegliedert werden können.

5 METHODIK

Im folgenden Kapitel wird eingegangen auf Hintergrundinformationen, Definitionen, Berechnungsansätze und die Durchführung von Berechnungen. Hierzu gehören u.a. die Wassermengenbilanz sowie die Wasserbedarfsprognose. Für den Kennzahlenvergleich wird zudem auf die Rahmenbedingungen und die davon abgeleitete Auswahl der Kennzahlen und Strukturmerkmale eingegangen.

Bei der Ermittlung und Festlegung der Bewertungskriterien für die Risikoanalyse der Rohrleitungsabschnitte werden ebenfalls die Hintergründe betrachtet. Hierzu gehören u.a. die Strukturierung und Einordnung des Rohrleitungssystems, die Überprüfung und Auswertung der Eingangsparameter, die Auswertung der Schadensstatistik sowie die Herleitung weiterer Kriterien. Nach Festlegung der Kriterien wird ebenfalls die Methodik der Übertragung auf das Leitungssystem im GIS beschrieben.

5.1 Bewertungsmethode zur Reha-Planung des Leitungssystems

Bevor auf die einzelnen Schritte eingegangen wird, soll der hier angesetzte, übergeordnete Methodenansatz zur Bewertung des Verteilungssystems zur Rehabilitationsplanung dargestellt werden. Der generelle Ansatz dieser Arbeit ist die Kombination zwischen einem Kennzahlenvergleich und einer Risikoanalyse auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen (vgl. Abbildung 8). Die zwei Bewertungsansätze werden zunächst unabhängig voneinander angewandt. Die Bildung der Kennzahlen und Strukturmerkmale findet auf der Ebene der Versorgungsbereiche statt, so dass die Bewertung nach dem sogenannten Top-Down-Prinzip sowie durch Vergleich der Kennzahlen untereinander durchgeführt werden kann. Die Risikoanalyse des Rohrleitungssystems findet folglich auf Ebene und Örtlichkeit der Leitungen nach dem Bottom-Up-Prinzip statt. Wie in Abbildung 8 dargestellt, handelt es sich um unterschiedliche Betrachtungsgrenzen und Ansätze, die unterschiedliche Möglichkeiten bieten.

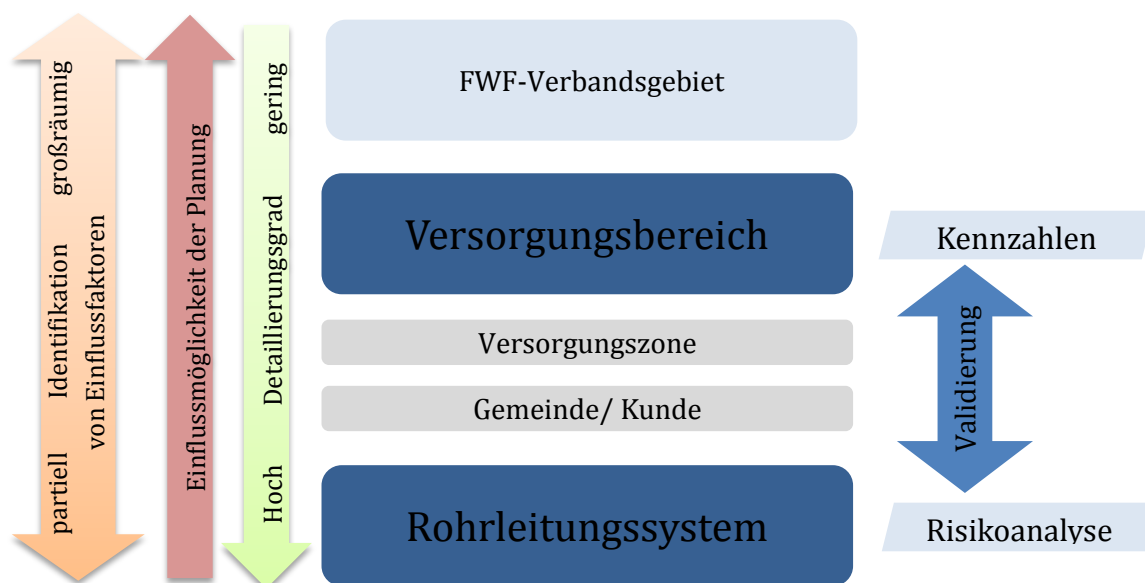


Abbildung 8: Betrachtungs- und Analyseebenen (Eigene Darstellung)

Der Detaillierungsgrad und die Konkretisierung sind auf Ebene des Leitungssystems wesentlich höher, wohingegen die Einflussmöglichkeiten auf die Planung und die Steuerung des

Unternehmens abnimmt. Des Weiteren können Einflussfaktoren auf den Rehabilitationsbedarf zum einen lokal am direkten Leitungsabschnitt und zum anderen großräumig für den VB identifiziert werden. Die Risikoanalyse betrachtet die Leitungseigenschaften sowie die direkte Lage der Leitung. Anhand der Kennzahlen auf VB-Ebene lassen sich die Ergebnisse mit strukturellen, vertraglichen Änderungen oder Trends vergleichen und die Ursache von Wirkungszusammenhängen besser darstellen und identifizieren.

Die verschiedenen Ansätze werden am Ende über die örtliche Kennung zueinander in Verbindung gesetzt. Damit kann auf den verschiedenen Betrachtungsebenen (Verband, Versorgungsbereiche, Rohrleitungsabschnitte) eine qualitative und quantitative Beurteilung vorgenommen werden.

Wie in Abbildung 9 dargestellt, kann aus der Verknüpfung der Bewertungsergebnisse eine Empfehlung zum Rehabilitationsbedarf abgeleitet werden. Je nach Bedarf können die Ergebnisse einzeln auf verschiedenen Ebenen dargestellt, ausgewertet und besprochen werden.

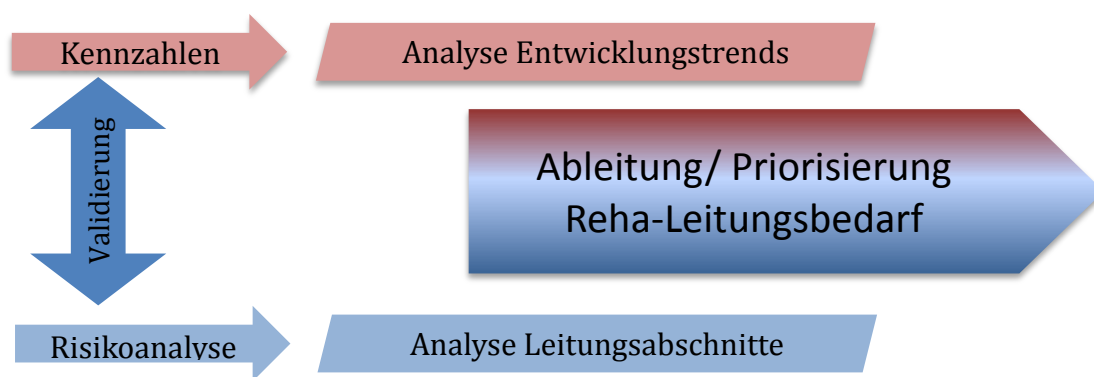


Abbildung 9: Ebenen der Ergebnisdarstellung (Eigene Darstellung)

Durch den Top-Down und Button-Up Ansatz findet in gewisser Weise eine Validierung bzw. Eingabekontrolle der zwei Bewertungsmethoden statt. Durch den Vergleich der Ergebnisse können Aussagen, Trends, Ausreißer verstärkt oder relativiert werden. Trends auf der Kennzahlenebene können durch die erweiterte Betrachtungsebene der Risikobewertung sichtbar bzw. transparent gemacht und mit weiteren Fakten ergänzt und konkretisiert werden. Die Konkretisierung kann letztendlich in Form einer Prioritätenliste der rehabilitationsbedürftigen Leitungsabschnitte erfolgen.

Ergänzend zu den Kennzahlen und der Risikoanalyse sollen die Ergebnisse der Wassermengenbilanz und der Wasserbedarfsprognose mit in die Gesamtbewertung der Versorgungsbereiche einfließen. Diese Bestandteile dienen teilweise als Eingangsparameter besitzen jedoch einen eigenständigen Berechnungsansatz und Bewertungscharakter.

5.2 Berechnung der Wassermengenbilanz

Im nachfolgenden Abschnitt werden die einzelnen Schritte zur Aufstellung und Berechnung der Wassermengenbilanz (WMB) beschrieben.

Die Wassermengenbilanz bildet die Grundlage zur Beurteilung der aktuellen Versorgungssituation, der Ressourcenauslastung sowie der Bestimmung von Wasserverlusten. Mit Hilfe der Wasserbilanz sollen die Mengenverhältnisse der einzelnen Versorgungsbereiche und deren Verknüpfungen bilanziert werden. Ein weiteres Ziel der WMB ist es, die Eigenwasseranteile wie Betriebswassermengen, Wasserbedarf in der Verteilung sowie reale und

scheinbare Wasserverluste zu ermitteln und zu quantifizieren. Die Ergebnisse sind gleichzeitig die Eingangsparameter für die Wasserbedarfsprognose sowie die Berechnung von Kennzahlen.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht betrachtet die WMB die Bilanz zwischen Wasserdargebot und Wasserbedarf in einer festgelegten Zeitspanne. Das Wasserdargebot bildet sich aus der vertraglich festgelegten bzw. technisch möglichen, maximalen Grundwasserentnahmemenge, die dem Wasserkreislauf an der jeweiligen Stelle nachhaltig entnommen werden kann. Im Fall eines Fremdwasserbezugs gelten die maximalen Bezugsmengen pro Tag bzw. Jahr, welche in den Wasserlieferungsverträgen festgelegt sind. Der Wasserbedarf ist die Menge, die tatsächlich gefördert bzw. bezogen wird und für Gewinnung, Aufbereitung, Verteilung und letztendlich die Versorgung des Kunden genutzt wird. Zwischen Wasserdargebot und Wasserbedarf sollte stets ein gewisser Abstand bestehen, um die jährlich schwankende Nachfrage abdecken zu können. (Rautenberg, 2016) Mit Hilfe der Wassermengenbilanz lassen sich daher v.a. die Ressourcenauslastungen, eventuelle Wasserdefizite oder ein Überdargebot feststellen.

Bei der Wasserbilanz mit Blick auf Wasserverluste, v.a. auf Wasserverluste im Verteilungssystem, werden auf der einen Seite die Einspeisemenge ins System und auf der anderen Seite die unterschiedlichen Abgaben aus dem System betrachtet, ebenfalls bezogen auf einen festgelegten Zeitraum. Zu den Abgabemengen zählen abgerechnete Wassermengen der Kunden am AGS, der Bedarf bei Bauvorhaben, Leitungsspülungen, Behälterreinigungen sowie Betriebswassermengen in den eigenen Bauwerken. Hinzu kommen die realen und scheinbaren Verluste auf dieser Bilanzseite (vgl. hierzu auch Abbildung 11). Reale Verluste entstehen durch Wasseraustritt aufgrund von z.B. Rohrbrüchen. Zu den sogenannten Scheinverlusten zählen u.a. Mess- oder Ablesefehler. (DVGW W 392 (A), 12/2015, S. 10) Diese Art der Wasserbilanz dient der Betrachtung der verschiedenen Wasserabgabegrößen sowie einer Qualitätsbewertung des Verteilungssystems.

Bei der Betrachtung der zwei Bilanzen ist festzuhalten, dass im jeweiligen Fall unterschiedliche Grenzen gelten und es damit auch zwei Bilanzräume gibt. Wichtiges Ziel ist es also, neben dem Verbandsgebiet, die Bilanzierung für jeden Versorgungsbereich getrennt aufstellen zu können.

Zur Erstellung der Bilanzen werden unterschiedliche Daten und Informationen benötigt. Auf Ebene der VB werden zunächst die Mengen der Wassergewinnung (Eigenwasser, Fremdbezug) bzw. Gesamtwassereinspeisung, die wasserrechtlich genehmigte bzw. vertraglich festgelegte Wassermenge, der Eigenwasserbedarf und die abgerechnete Abgabemenge ermittelt. Als repräsentativer Zeitraum werden die 10 Jahre von 2005 bis 2015 betrachtet, um die Entwicklung der letzten Jahre zu berücksichtigen.

Die nachfolgende Tabelle 3 zeigt einen Überblick über die Eingangs- und Berechnungswerte, die für den besagten Zeitraum und die 9 Versorgungsbereiche aufgestellt werden.

Tabelle 3: Parameter der Wassermengenbilanz (Kürzel vgl. Abbildung 11)

| Jahr [m ³ /a] | Zeitspanne 2005 -2015 |
|---|------------------------------------|
| Eigengewasser | Jahreswert [m ³ /Jahr] |
| Fremdbezug | Jahreswert [m ³ /Jahr] |
| Gesamtaufkommen | Jahreswert [m ³ /Jahr] |
| max. Entnahmerechte [Q _{max}] | Jahreswert EÜV [m ³ /a] |
| max. Fremdbezug (Wasserlieferungsvertrag) | Jahreswert [m ³ /a] |
| max. Gesamtwasserdargebot (Eigen & Fremd) | Jahreswert [m ³ /a] |
| Auslastungsgrad Gesamtmenge | Jahreswert [%] |

| | |
|--|---|
| max. tatsächliche Tagesentnahmemenge | Tageswert [m ³ /d] |
| max. Entnahmerechte [Q _{max}] | Tageswert EÜV [m ³ /d] |
| Auslastung des Eigenwasserressourcendangebots | Tagesmenge [%] |
| Einspeisung Q _E (WW/ HB-Ausgang) | Bilanz je VB [m ³ /a] |
| Nutzbare Wasserabgabe Q _{AR} (AGS) | Abgerechnet [m ³ /a] |
| Betriebswassermengen/ Eigenbedarf Q _{AN} | [m ³ /a] |
| Eigenbedarf, Verluste Q _{VR} inkl. Aufbereitung | von Gesamtaufkommen [m ³ /a] |
| Eigenbedarf, Verluste Q _{VR} in Verteilung | von Einspeisung [m ³ /a] |
| Scheinverluste Q _{VS} | Prozentual von Q _E [m ³ /a] |
| Reale Verluste Q _{VR} | Berechnet [m ³ /a] |
| Reale Verluste Q _{VR} (Rohrbrüche bekannt) | von Einspeisung [m ³ /a] |
| Eigenbedarf, Verluste Q _{VR} inkl. Aufbereitung | [%] |
| Eigenbedarf, Verluste Q _{VR} in Verteilung | [%] |
| Scheinverluste Q _{VS} | [%] |
| Reale Verluste Q _{VR} | [%] |

Datengrundlagen

Die Rohdaten stammen aus unterschiedlichen, internen Datenquellen der FWF. Auf Basis von betriebsinterner Wasserzähler an verschiedenen Ein- und Ausgangspunkten von Brunnen, Wasserwerken, Hochbehältern, Schächten und Messstellen wird ein sogenanntes Betriebsdatenprotokoll generiert, welches die Wassermengen erfasst und automatisch für die einzelnen Zonen bilanziert. Seit dem Jahr 2011 werden die Zählerstände über ein Zählerfernauslesesystem abgerufen, übertragen und gespeichert. Es ist zu beachten, dass die betriebsinternen Zähler bzw. IDM's (induktive Durchflussmesser) größtenteils keine geeichten Zähler sind. Aus den Betriebsdatenprotokollen stammen die Daten zu Eigenwasser, Fremdwassermenge, Gesamtwasseraufkommen als Summe der zwei Werte sowie die Menge der Einspeisung als Summe der Zonenbilanzen. Die Einspeisung je VB ergibt sich aus den Zonenbilanzen, welche ebenfalls versorgungsbereichsübergreifende Wassertransporte sowie Behälterschwankungen berücksichtigen.

In den Abgabeschächten, in denen das Wasser an die Kunden abgegeben wird, sind geeichte Zähler installiert, welche die tatsächlich abgerechnete Wassermenge erfassen. Diese Zahlen werden in der Abrechnungsstelle der Finanzabteilung der FWF verwaltet. Aufgrund der geeichten Zähler und der höheren Relevanz für die Abrechnung ist davon auszugehen, dass die hier ermittelte „nutzbare Wasserabgabe“ eine höhere Genauigkeit aufweist als die betriebsinternen Wasserzähler.

Die maximalen, jährlich und täglich rechtlich festgelegten Fördermengen sowie die tatsächlich maximale Tagesförderung sind den Protokollen der sogenannten Eigenüberwachungsverordnung (EÜV) zu entnehmen. Diese Protokolle werden für alle VB mit einer Eigenwasserförderung geführt. Hierbei ist zu beachten, dass die maximale Jahresentnahmemenge nicht der 365-fachen Menge der Tageshöchstmenge entspricht.

Die vertraglich festgelegten maximalen Tages- und Jahres-Fremdwasserbezugsmengen lassen sich den einzelnen Wasserlieferungsverträgen mit den benachbarten FWVU entnehmen. Hier gilt ebenfalls, dass die Tageshöchstmenge oft nur für einen begrenzten Zeitraum vorgesehen ist und nicht durch Multiplikation mit 365 die Jahreshöchstmenge ergibt.

Aus den Abrechnungsdaten bzw. aus einer separaten Statistik werden die Betriebswassermengen mit in die Bilanz aufgenommen. Hierbei handelt es sich um Wassermengen, die in den Wasserwerken (Betriebswassermenge Gewinnung) oder HB, WT, Pumpwerken innerhalb des Verteilungssystems (Betriebswasser Verteilung) genutzt werden und zum Eigenbedarf zählen. Die Betriebswassermengen werden erst seit dem Jahr 2013 gesondert erfasst. In den Jahren davor sind die Mengen in den Abrechnungsmengen enthalten.

Seit dem Jahr 2008 wird zudem eine gesonderte Statistik darüber geführt, welche ausgetretenen Wassermengen sich nach Rohrbrüchen ergaben. Anhand dieser Zahlen werden die erkannten realen Wasserverluste protokolliert.

Berechnung

Nach der Datenrecherche werden die Werte zum Gesamtwasserdargebot, Gesamtwasseraufkommen und die Differenz bzw. Auslastungsgrad berechnet. Der Auslastungsgrad der Eigenwasserressourcen wird zudem über die maximale Menge der Entnahmerechte und den maximalen Tageswert berechnet. Anhand dieser Parameter lässt sich bereits die wasserwirtschaftliche Wassermengenbilanz aufstellen.

Zur weiteren Bilanzierung werden die Mengen aus der Differenz zwischen Gesamtaufkommen, eingespeister Wassermenge in das Verteilungssystem und abgegebenen Wassermengen berechnet. Die Menge des Eigenbedarfs bei der Aufbereitung und Verteilung sowie Messfehler und Verluste ergeben sich aus der Differenz zwischen Gesamtaufkommen und nutzbarer Wasserabgabe. Aus der Differenz zwischen Einspeisung und nutzbarer Wasserabgabe ergibt sich die Menge von Eigenbedarf, Messfehlern und Verlusten innerhalb des Verteilungssystems.

Nach dem Ansatz vom Arbeitsblatt DVGW W 392, siehe Abbildung 10, können aus dieser Differenz abzüglich der Betriebswassermengen die Verluste ermittelt werden (vgl. ebenso Abbildung 11).

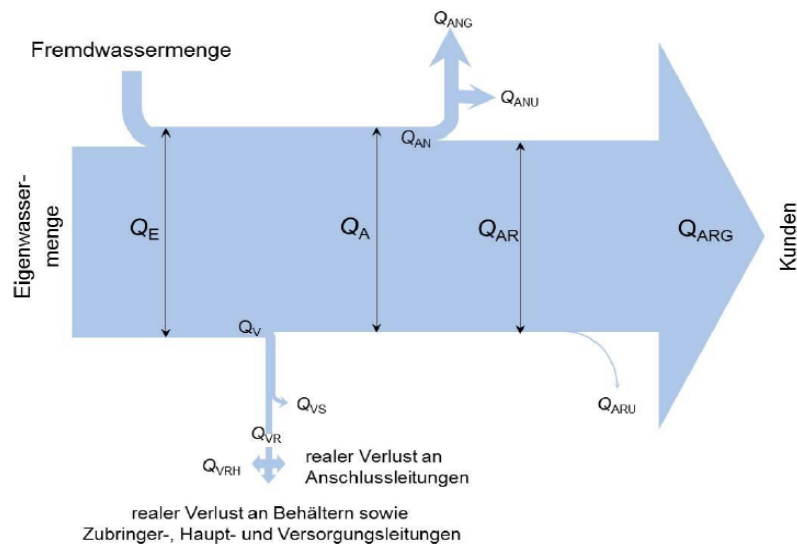


Abbildung 10: Schema der Wasserbilanz (DVGW W 392 (A), 12/2015, S. 9)

Die realen Wasserverluste ergeben sich aus den Gesamtverlusten abzüglich der Scheinwasserverluste ($Q_{VR} = Q_V - Q_{VS}$). Scheinverluste sind als Mess-, Ables- und Abgrenzungsfehler oder Wasserdiebstahl definiert (DVGW W 392 (A), 12/2015, S. 10), wobei es sich im Fall der FWF aufgrund der digitalen Datenübertragung, hauptsächlich um Mess- und Abgrenzungsfehler handeln kann. Von Wasserdiebstahl ist nach Erfahrungswerten bei einer

Fernwasserversorgung und explizit bei der FWF nicht auszugehen. (Rautenberg, 2016) Die interne Schadensstatistik gibt Auskunft über geschätzte Verluste, die als reale Verluste durch Rohrbrüche ausgewiesen werden können. Da diese Angaben nur aus den letzten Jahren und nur für einige VB verfügbar sind, werden die realen Wasserverluste auch nach dem zuvor beschriebenen und in Abbildung 11 dargestellten Berechnungsansatz über die Scheinverluste berechnet. Die Scheinverluste werden in diesem Fall mit 0,4 Prozent der Einspeisemenge berechnet.

| | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---|--|--|
| Netzein- speisung Q_E | Netzab- gabe Q_A | in Rechnung gestellt: Q_{AR} | gemessen: Q_{ARG} | in Rechnung gestellte Wassermenge |
| | | | ungemessen: Q_{ARU} | |
| | | nicht in Rech- nung gestellt: Q_{AN} | gemessen: Q_{ANG} | |
| | | | ungemessen: Q_{ANU} | |
| | Wasser- verlust Q_V | scheinbar: Q_{VS} | Messfehler Ablesefehler Abgrenzungsfehler Wasserdiebstahl | nicht in Rechnung gestellte Wassermenge |
| | | real: Q_{VR} | Behälter ^a Zubringerleitungen ^a Hauptleitungen Versorgungsleitungen Anschlussleitungen | |

^a sofern innerhalb der Bilanzgrenzen

Abbildung 11: Größen der Wasserbilanz (DVGW W 392 (A), 12/2015, S. 8)

Bezüglich der realen Wasserverluste bzw. Differenzen zwischen Einspeisung und nutzbarer Abgabe ist anzumerken, dass insbesondere bei den Betriebsdatenprotokollen eine klare Abgrenzung zwischen den VB aus verschiedenen Gründen nicht immer klar vorzunehmen ist. In Ausnahmefällen kann es zudem vorkommen, dass die Abrechnungsmengen höher sind als die tatsächlich gelieferte Menge. Grund hierfür kann sein, dass die vertraglich festgelegte Mindestabnahmemenge vom Kunden nicht erreicht, jedoch als Mindestabnahme berechnet wird. (Biebelriehter, 2016) Des Weiteren werden bei Baumaßnahmen sogenannte Bau-Sammelverträge abgerechnet. Hierbei kann es sich um Wasserabgaben an das Bauunternehmen während der Bauphase handeln oder um Wassermengen, die bei Leitungsspülungen anfallen. Diese Mengen der Leitungsspülungen werden über Bilanzen abgeschätzt, was theoretisch zu weiteren Messungenauigkeiten führen kann. (Biebelriehter, 2016)

Bei der Auswertung bzw. Interpretation der Ergebnisse bezüglich der realen Wasserverluste ist es wichtig die Ausgangsdatenlage zu berücksichtigen. Ist davon auszugehen, dass die Bilanz aus Wassereinspeisung abzüglich der Abgabemenge und der Betriebswassermenge die Verluste ergibt, werden die realen Verluste aufgrund der hohen Abgrenzungsfehler überschätzt. Werden lediglich die Wasserverluste von Rohrbrüchen als reale Verluste angenommen, sind die Verluste zu gering bewertet, da hier keine Schleichverluste oder nicht dokumentierte Verluste berücksichtigt sind.

Plausibilitätsprüfung

Zur Plausibilitätsprüfung werden v.a. die Ergebnisse betrachtet, die sich aus der Differenz zwischen Einspeisung und Abgabe ergeben. Zu starke Abweichungen zwischen Einspeisung und nutzbarer Wasserabgabe oder eine negative Bilanz werden gesondert geprüft. Abweichungen

von mehr als 2-5 Prozent, entsprechend der zugelassenen Fehlergrenze im oberen und unteren Belastungsbereich von Zählern, sollten geprüft werden. (DVGW W 406 (A), 01/2012, S. 11)

Generell lässt sich festhalten, dass die Genauigkeit und Sorgfalt der Datenerfassung, Aufbereitung und Verwendung maßgeblich sind für die Güte der Wasserbilanz. (DVGW W 392 (A), 12/2015, S. 4)

Die Datenerfassung, Übertragung und Speicherung hat sich innerhalb der letzten 10 Jahre in einigen Bereichen grundlegend geändert. Hinzu kommen Veränderungen in der Betriebsführung durch Verschiebungen der Versorgungsbereichsgrenzen, planmäßiger und unplanmäßiger Betriebsänderungen innerhalb eines Jahres oder dem Wegfall von Zählerdaten aufgrund von Hard- und Software Erneuerungen (SPS-Anlagen). Diese Faktoren führen dazu, dass die Ergebnisse insgesamt und im Vergleich der einzelnen Jahre Ungenauigkeiten aufweisen können.

Auswertung der Wassermengenbilanz

Die Berechnung und Ergebnisdarstellung der Wassermengenbilanz erfolgt auf Ebene der Versorgungsbereiche. Die zwei Betrachtungsansätze der WMB werden mittels einer Grafik sowie einer Tabelle für jeden VB ausgewertet. Die Grafik betrachtet zum einen die Gegenüberstellung von Wasserdargebot (gestrichelte Linie) und Gesamtwasseraufkommen (Balken) sowie die Einspeisung und Abgabe im Verteilungssystem (blaue und rote Linie). In der tabellarischen Auswertung sind die einzelnen Eingangs- und Berechnungswerte wie in Tabelle 3 dargestellt.

5.3 Berechnung der Wasserbedarfsprognose

Zur besseren Planung der Wassergewinnung, Wasserbeschaffung von Extern sowie infrastruktureller Einrichtungen für die Wasseraufbereitung, Wasserspeicherung und Verteilung ist es notwendig, den zukünftigen Wasserbedarf zu prognostizieren. Die Wasserbedarfsprognose ist somit ein prognostizierter Planungswert, der den Bedarf für einen bestimmten Zeitraum unter festgelegten Bedingungen berücksichtigt.

Im Kontext dieser Arbeit ist das Ziel der Wasserbedarfsprognose, eine relevante Prognose für die einzelnen Versorgungsbereiche zu erstellen. Anhand der Veränderungen im Wasserbedarf können somit ggf. Notwendigkeiten einer infrastrukturellen Änderung sichtbar werden. Das Ergebnis dient v.a. dem Betrachtungsmaßstab der Versorgungsbereiche, kann jedoch ebenfalls auf Ebene der Zonen oder Gemeinden ausgewertet werden.

Die richtige Abschätzung von Trends, Abnahme, Zunahme oder gleichbleibendem künftigen Wasserbedarf ist eine wichtige Aufgabe, die mit Hilfe der Prognose vorgenommen werden kann. Unter Berücksichtigung der Daten vergangener Jahre sowie prognostizierte Veränderungen oder Einflussfaktoren kann eine Bandbreite zwischen minimalen und maximalen Entwicklungen dieser Trends abgeschätzt werden. (MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 48)

Allgemein werden der demografische Wandel, die Veränderungen des Klimas sowie strukturelle Faktoren berücksichtigt. Bei der Fernwasserversorgung können Veränderungen im Wasserbedarf zudem ausgehen von Neuanschlüssen ganzer Ortschaften, Gemeinden, Ortsteilen oder größerer Industriebetriebe.

Aufgrund der Tatsache, dass die FWF ihr Wasser i.d.R. nicht an Endkunden liefert sondern ihre Wasserlieferungsverträge mit den Städten und Gemeinden geschlossen hat, gibt es von Seiten der FWF keine genauen Daten über die tatsächliche Anzahl der versorgten Endabnehmer bzw. Einwohner. In einigen Fällen haben Stadt oder Gemeinde verschiedene Bezugsquellen, so dass

nur ein Teilbereich mit Wasser der FWF versorgt wird. In diesen Fällen wird von einer Teilversorgung der Städte oder Gemeinden gesprochen. Aus der FWF Abgabemenge und der Einwohnerzahl kann daher kein Rückschluss auf den pro Kopf Verbrauch erfolgen. Die Einwohnerzahl und die FWF-Bezugsmenge stehen somit für einige Städte und Gemeinden in keiner exakten Korrelation zueinander.

Die Wasserbedarfsprognose für die Fernwasserversorgung Franken ist daher darauf angewiesen einen etwas anderen Ansatz zu wählen statt der Vorgehensweise nach DVGW W 410. Ausgangspunkt zur Ermittlung der Bedarfsveränderung ist eine Kundenumfrage, die im Rahmen der Studie 2040 bereits im Jahr 2015 durchgeführt wurde sowie ein Experteninterview mit der Werkleitung zur Abschätzung der Entwicklung bezüglich Neuanschlüssen im Verbandsgebiet.

Die Umfrage richtete sich an alle FWF Vertragskunden und beinhaltete u.a. Fragen zur Kundenzufriedenheit, der Wasserbedarfsabschätzung sowie zur allgemeinen zukünftigen Entwicklung. Eine erste Auswertung hat ergeben, dass von rund 148 versendeten Umfragebögen 127 Rückmeldungen kamen, was einer Teilnehmerquote von 85,8 Prozent entspricht. Die Frage B-1 (s. Tabelle 4) zielte darauf ab, dass die Städte und Gemeinden eine eigene Einschätzung zum zukünftigen Wasserbedarf vornehmen. Als mögliche Antwort kann eine Zu- oder Abnahme um mehr oder weniger als 10 Prozent sowie ein gleichbleibender Wasserbedarfs angegeben werden.

Tabelle 4: Frage B 1: Umfrage der Studie 2040 (FWF-Kundenumfrage, 2015)

| B1 | Anstieg > 10 % | Anstieg < 10% | Stabil | Abnahme < 10 % | Abnahme > 10% |
|--|------------------------------|-----------------------------|---------------|------------------------------|-----------------------------|
| Welche Erwartungen haben Sie hinsichtlich des Wasserabsatzes bis 2040 in Ihrem Versorgungsgebiet? | | | | | |
| Erläuterungen | | | | | |

Grundsätzlich können zwei Kundensegmente unterschieden werden: Haushalts-/Kleingewerbekunden sowie Industrie-/Sondervertragskunden. Welche Erwartungen haben Sie, ausgehend vom Jahr 2015, an die Wasserabsatzentwicklung bis in das Jahr 2040?

Aus den Datengrundlagen lassen sich daher zwei Szenarien ableiten. Zum einen kann die Veränderung der aktuellen Abgaben von der Kundenumfrage abgeleitet werden. Zum anderen ergibt sich mit Berücksichtigung der ermittelten potentiellen Neuanschlüsse ein zweites Szenario.

Wesentlicher Einflussfaktor auf das Ergebnis der Prognose ist das Basisjahr. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht und anhand der Auswertungen zählt das Jahr 2015 als ein Spitzenbedarfsjahr, weshalb folgender Ansatz verfolgt wurde. Die Berechnung der unteren Grenze der Bandbreite basiert auf einem Mittelwert der letzten fünf Jahre. Zur Berechnung der Maximalbereiche, einmal mit und einmal ohne Neuanschlüsse, sind die Wasserabgaben aus dem Jahr 2015 die Basiswerte. Somit ergibt sich eine Bandbreite von minimalen und maximalen Bedarf.

Zuordnung der Umfrageergebnisse

Ein erster Schritt ist die Verknüpfung und Zuordnung der Umfrageergebnisse einzelner Städte und Gemeinden zu den tatsächlichen Abgabemengen der letzten Jahre. Hierbei sind verschiedene Punkte zu beachten. Die Wasserabgabemengen werden generell über die

Abgabestellen (Wasserzähler) erfasst, die gleichzeitig den Übergang vom FWF-System zum Kundennetz darstellen. In den meisten Fällen kann der Vertragskunde Gemeinde oder Stadt je nach Größe oder Anzahl der Ortsteile mehrere AGS besitzen. Weiterhin ist es möglich, dass die AGS eines Kunden bzw. einer Gemeinde unterschiedlichen Versorgungsbereichen der FWF zugeordnet sind (vgl. Abbildung 12). Damit die Umfrageergebnisse den einzelnen VB zuzuordnen sind ist es notwendig, die Übertragung der Umfrageergebnisse auf Ebene der Abgabestellen vorzunehmen. Jede AGS erhält somit die Antwort der Kundenumfrage, welche über den Kundenschlüssel zugeordnet wird.

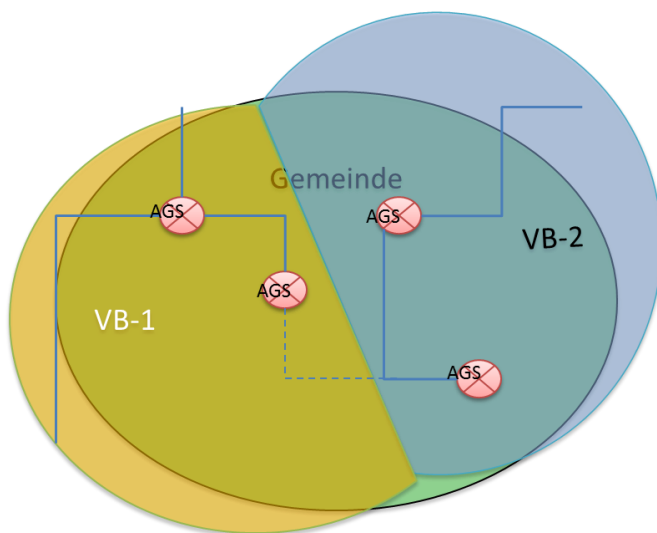


Abbildung 12: Verortung von AGS zu Gemeinde & VB (Eigene Darstellung)

Für die Kunden die nicht an der Umfrage teilgenommen haben, Sonderabnehmer oder bei unklaren Antworten müssen bei der Auswertung weitere Annahmen getroffen werden.

Städten und Gemeinden, die aus verschiedenen Gründen nicht an der Umfrage teilgenommen haben, wird ein gleichbleibender Wasserverbrauch zugeschrieben. Bei unklaren Antworten, z.B. mit zwei Kreuzen im Fragebogen, wird ein gleichbleibender Wasserverbrauch angenommen. Beispielsweise wurde ein gleichbleibender und abnehmender Verbrauch oder ein gleichbleibender und zunehmender Verbrauch angekreuzt. In beiden Fällen wird der zukünftige Verbrauch als gleichbleibend angenommen, sofern keine anderen Informationen oder Vertragserneuerungen vorliegen.

Aussiedlerhöfen, Industriegebieten und anderen Abnehmern, die nicht gesondert an der Umfrage teilgenommen haben, wird das Umfrageergebnis der zugehörigen Gemeinden zugeordnet. In einigen Fällen haben Sonderanschlüsse, z.B. Krankenhäuser, eine separate Einschätzung zum zukünftigen Wasserbedarf abgegeben.

Basisjahr

Nach Zuordnung der Umfrageergebnisse an die AGS werden in einem weiteren Schritt den AGS, über deren eindeutige Kennung, die abgerechneten Wasserabgabemengen zugeordnet. Die tatsächlich abgerechneten Jahreswassermengen bilden die Ausgangslage bzw. das Basisjahr. Das Jahr 2015 ist aufgrund des extremen Hitzesommers nur bedingt repräsentativ, um es als Basisjahr für die Gesamtprognose zu Grunde zu legen. Aufgrund dessen wird ausgehend von den Wasserabgaben der letzten fünf Jahre (2011-2015) ein Mittelwert als Berechnungsgrundlage für die untere Grenze der Wasserbedarfsprognose genutzt. Durch eine Plausibilitätsprüfung (Abweichung der Jahresabgabemengen zum Mittelwert) wird festgestellt, ob es bei AGS evtl. zu

extremen Abweichungen kommt. Dies tritt auf, wenn z.B. eine AGS hinzukommt, wegfällt, unter Umständen in einem Jahr kein Wert existiert oder Umstrukturierungen der Abgaben stattgefunden haben. In diesen Fällen wird der Mittelwert aus den verbleibenden Werten gebildet.

In den letzten fünf Jahren sind zudem Umstrukturierungen in der Wasserverteilung vorgenommen worden, wodurch einige AGS einem anderen VB zugeordnet sind. Zur Berechnung des Mittelwertes sind die AGS den Versorgungsbereichen dem aktuellen Stand zugeordnet. Das heißt, dass beispielsweise die Wassermengen einer AGS im VB Sulzfeld aus dem Jahr 2011, die heute jedoch zum VB Volkach gehört, bereits im Jahr 2011 Volkach zugeordnet wird, um einen möglichst genauen Ausgangswert zu erhalten.

Zur Darstellung der Obergrenze der Prognose wird auf Basis des Spitzenjahres 2015 die Berechnung erneut durchgeführt. Hierdurch wird die zuvor beschriebene Bandbreite vergrößert und tatsächlich aufgetretene Spitzenverbräuche berücksichtigt.

Berechnung des Trends

Die Antwortmöglichkeiten (vgl. Tabelle 4) formulieren für die Zu- oder Abnahme einen gewissen Wertebereich, den es für die Auswertung zu berücksichtigen gilt. Um am Ende für jede Antwortmöglichkeit einen tatsächlichen Wert zu erhalten, wird folgende Berechnungsmatrix aufgestellt:

Für die Annahme des gleichbleibenden Wasserverbrauchs wird der Ausgangswert (Basisjahr) auf das Jahr 2040 unverändert übertragen.

Für Annahmen, die von einem Anstieg oder Rückgang um mehr als zehn Prozent ausgehen, werden zum Ausgangswert zehn Prozent ($\text{Wert} + \text{Wert} * 0,1$) seiner Summe addiert bzw. subtrahiert.

Im Fall, dass von einem Anstieg oder Rückgang um weniger als zehn Prozent ausgegangen wird, werden zwei Werte berechnet. Einmal wird der Ausgangswert mit 0,001 und einmal mit 0,0999 multipliziert und mit dem Ausgangswert entsprechend addiert oder subtrahiert. Somit wird ein Wertebereich zwischen größer bzw. kleiner Null und kleiner zehn bzw. minus zehn Prozent dargestellt. Für diese Kategorie der Antwortmöglichkeit lässt sich ein Minimal- und Maximalwert erzeugen.

Aus den sich ergebenden sieben Werte-Möglichkeiten werden mit der entsprechenden Excel-Funktion Mittel-, Minimal- und Maximalwerte je AGS berechnet. Die gleiche Berechnung findet erneut Anwendung mit dem Basisjahr 2015. Aus der ersten Berechnung wird der Minimalwert, aus der zweiten der Maximalwert abgeleitet. Die Ergebnisse werden anschließend je Betrachtungsebene summiert, so dass sich z.B. die Ergebnisse auf VB-Ebene darstellen lassen. Mit den Ergebnissen für das Jahr 2040 lassen sich, durch eine gradlinige Interpolation, Trendlinien für den Zeitraum zwischen 2015 und 2040 generieren. Gleiches gilt für die Berechnung inklusive Neuanschlüssen.

Berechnung Neuanschlüsse

Ein weiterer Aspekt der WBP der FWF sind potentielle Neukunden im Verbandsgebiet. Das heißt Ortsteile oder Gemeinden, die im Verbandsgebiet der FWF liegen und sich bisher ganz oder teilweise selbst versorgt haben oder von anderer Stelle versorgt wurden.

Die Abschätzung potentieller Neukunden basiert auf Erfahrungswerten der FWF sowie aktuellen Gesprächen oder Vertragsverhandlungen mit den Gemeinden und Städten. In einem Experteninterview mit der Werkleitung-FWF wurde festgelegt, welche Gemeinden oder Ortsteile potentiell bis zum Jahr 2040 an das FWF Versorgungssystem angeschlossen werden könnten.

Zur Ermittlung der aktuellen Wasserbezüge potentieller Neukunden wird eine Statistik des statistischen Landesamtes Bayern zugrunde gelegt. Hiermit sind die Wasserverbräuche der einzelnen Gemeinden vom Jahr 2013 nachvollziehbar. Für potentielle Neuanschlüsse von Gemeinden kann somit der aktuelle Wasserverbrauch aus der Statistik für das Jahr 2040 eingeplant werden.

Bei teilversorgten Gemeinden wird von der ermittelten Wassermenge aus der Statistik der bereits von der FWF gelieferte Teil abgezogen. Beispielsweise werden die Stadt Herrieden und ihre Ortsteile zurzeit von der FWF nur teilversorgt. Bis zum Jahr 2040 besteht die Möglichkeit, dass sowohl die Stadt voll versorgt wird und weitere bisher nicht angeschlossene Ortsteile hinzukommen. Die Differenz aus dem Gesamtwasserbedarf (Statistik) und der Wasserbezugsmenge der FWF ergibt somit den Bedarf für die Neuanschlüsse.

Die potentiellen Neukunden werden zunächst über den Gemeindeschlüssel, den Gemeinden und anhand ihrer geografischen Lage in einem zweiten Schritt den Versorgungsbereichen der FWF zugeordnet. Auch hier liegen Ortsteile einer Gemeinde nicht unbedingt vollständig in einem VB (vgl. Beispiel Abbildung 12).

Berechnung des mittleren- und Spitzen-Tagesbedarfs

Die Ermittlung des mittleren Tagesbedarfs erfolgt durch Division des mittleren Jahresbedarfs durch 365. (DVGW W 410, 12/2008, S. 120) Die Ergebnisse werden als mittlerer Tagesbedarf mit und ohne Neuanschlüsse in Kubikmetern pro Tag angegeben.

Bei Kenntnis des Jahresverbrauchs einer Versorgungseinheit kann die Berechnung des maximalen Tagesbedarfs mit Hilfe eines sogenannten Tagesspitzenfaktors f_d (s. Formel) erfolgen. Dieser ist von der Struktur und Größe des Abnehmers bzw. von der Einwohnerzahl abhängig. In der nachfolgenden Berechnung ist zu sehen, dass der mittlere Tagesbedarf aus dem Jahreswert ermittelt und mit dem Spitzenfaktor multipliziert wird. (DVGW W 410, 12/2008, S. 15)

$$Q_{dmax} = Q_{dm} \cdot f_d = \frac{Q_a}{365} \cdot f_d$$

Neben statistischen Erfahrungen die sich auf Einwohnerzahlen stützen, sollten Erfahrungswerte des eigenen WVU aus Messwerten für die Ermittlung des Spitzenfaktors sinnvollerweise mit berücksichtigt werden. (DVGW W 410, 12/2008, S. 14)

Die Abhängigkeit des Spitzenfaktors von der Verteilungsstruktur bzw. von den Einwohnerzahlen wird beispielhaft an Abbildung 13 dargestellt, in der eine Ermittlung der Spitzenfaktoren für den Raum Unterfranken erfolgte. Geringere Einwohnerzahlen verursachen hohe Bedarfsspitzen, so dass mit zunehmender Einwohnerzahl und Abnahmemenge der Spitzenfaktor sinkt.

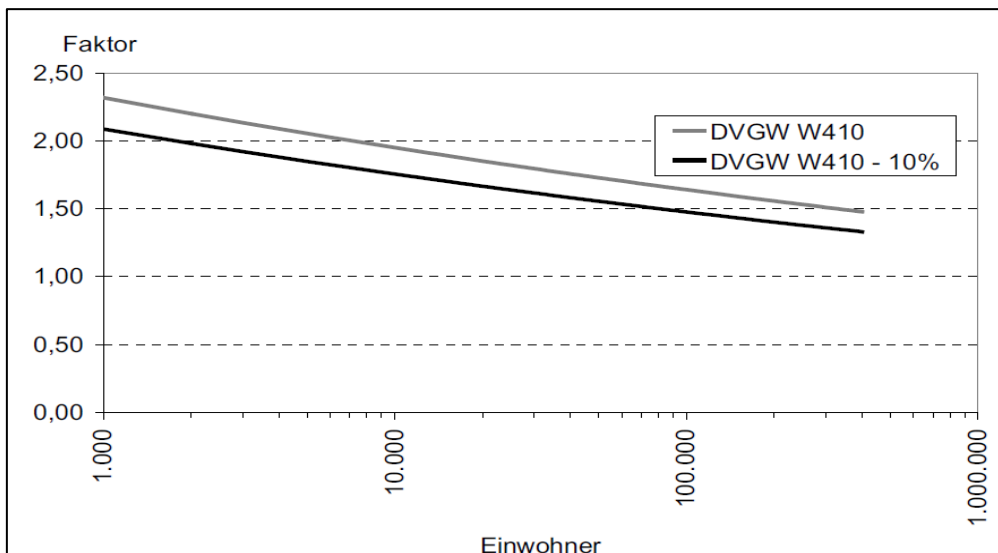


Abbildung 13: Einwohner bezogener Spitzenfaktor zur Berechnung des Tagesspitzenbedarfs (REGIERUNG UNTERFRANKEN, 2010, S. 19)

In Anlehnung an unternehmenseigene Erfahrungswerte erfolgte bereits in der FWF Studie 2020 eine etwas andere Einteilung des einwohnerbezogenen Spitzenfaktors wie folgt:

- Bis 400 EW $f_d = 1,8$
- Bis 1.000 EW $f_d = 1,6$
- Größer 1.000 EW $f_d = 1,3$

Nach diesem Prinzip wurde bereits in einer anderen FWF internen Arbeit ein versorgungsbereichsübergreifender Spitzenfaktor in Höhe von 1,49 für den VB Sulzfeld ermittelt. (vgl. KRÜGER, 2016, S. 58)

In der hier vorliegenden Arbeit wird die Auswertung des mittleren und maximalen Spitzenbedarfs ausschließlich auf Ebene der Versorgungsbereiche ausgewertet. Auf eine explizite Berechnung des Spitzenfaktors auf Gemeindeebene wird verzichtet. Annähernd wird daher eine vereinfachte Berechnung mit zwei Spitzenfaktoren durchgeführt. Für große VB, zu deren Abnehmerstruktur größere Städte gehören, wird der Faktor $f_d=1,5$, für kleine VB mit ländlichen Abnehmerstrukturen der Faktor $f_d=1,8$ eingesetzt.

Zu den Großen zählen die Versorgungsbereiche mit einer Abgabemenge von mehr als einer Million Kubikmeter (Volkach, Sulzfeld, Uehlfeld, Elpersdorf, Haslach). Gleichzeitig beherbergen diese VB mindestens einen größeren Abnehmer wie z.B. die Stadt Rothenburg o.d.T., Bad-Windsheim, Neustadt a.d.A. und andere. Für die anderen vier VB wird der Faktor 1,8 verwendet.

In der Auswertung wird zusätzlich der Stundenspitzenwasserbedarf berechnet, der in den Einheiten m^3/h und l/s dargestellt wird. Der Berechnungsansatz basiert auf dem Ansatz der FWF Studie 2020, wobei der Stundenspitzenbedarf auf dem Tagesspitzenbedarf basiert. Der Spitzenwasserbedarf pro Stunde ergibt sich, indem der Tagesspitzenbedarf auf 10 Stunden aufgeteilt wird (vgl. Formel). (INSUMMA, 2000, S. 17)

$$Q_{hmax} = \frac{Q_{dmax}}{10} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Wird der berechnete Wert durch 3,6 geteilt, ergibt sich die Einheit Liter pro Sekunde. Da die Spitzenbedarfsmengen nur auf Ebene der VB ermittelt werden, gelten die Ergebnisse eher als Orientierungswerte und sollten für den Einsatz auf AGS-Ebene neu berechnet werden.

Auswertung

Die Auswertung der Ergebnisse wird auf unterschiedlichen Ebenen dargestellt. Für das Verbandsgebiet sowie die neun Versorgungsbereiche wird eine grafische Auswertung in Form eines Diagramms generiert. Dieses beinhaltet die Prognose mit und ohne Neuanschlüssen.

Eine tabellarische Auswertung beinhaltet den tatsächlichen Verbrauch bis 2015, die Prognosewerte ohne Neuanschlüsse bis 2040 (Min, Max, Mittel) sowie Prognosewerte mit Neukunden (Min, Max). Es werden die jährlichen und täglichen Bedarfswassermengen ausgewertet.

Die grafische Auswertung beinhaltet die Bedarfsprognose ohne und mit Neuanschlüssen jeweils mit dem gemittelten Basisjahr als Minimalwert und dem Basisjahr 2015 als Maximalwert. Als weiterer Vergleich werden die prognostizierten Werte der Studie 2020 aufgeführt.

Aufgrund des Berechnungsansatzes ist es ebenfalls möglich, die jährlichen Wasserabgabe- und Prognosemengen auf die einzelnen Gemeinden zu übertragen. Für die Gemeindeebene wird daher zusätzlich eine kartografische Auswertung des gesamten Verbandsgebiets je Prognoseszenario generiert. Die Gemeindeflächen werden anhand der Abgabemengen unterschiedlich eingefärbt. Die Festlegung der Größenklassen zur Darstellung der Ergebnisse ist in Tabelle 5 zu sehen.

Tabelle 5: Klassifizierung der Abgabemengen je Gemeinde (Eigene Darstellung)

| Jährliche Wasserabgabe [m ³ /a] | Beschreibung |
|--|---|
| < 50.000 | Geringe Abgabe (kl. Gemeinden, Ortsteile, Höfe) |
| 50.000 - 100.000 | Mittlere Abgabe (Gemeinden) |
| 100.000 - 500.000 | Hohe Abgabe (Städte, größere Gemeinden) |
| > 500.000 | Sehr hohe Abgabe (Städte) |

Veränderungen zwischen der Ausgangssituation, der Prognose ohne Neuanschlüsse und der Prognose mit Neuanschlüssen werden anhand farblicher Unterschiede erkennbar.

Betriebswassermengen die ebenfalls eine Abrechnungsnummer besitzen und in einigen Jahren in den Abrechnungswerten mit auftauchen, werden in der Berechnung der Prognose nicht berücksichtigt und sind nicht in den Wassermengen enthalten. In den Ergebnissen werden diese als Mittelwert der letzten fünf Jahre gesondert dargestellt und als gleichbleibend angenommen (vgl. hierzu die Wassermengenbilanz).

5.4 Kennzahlen und Strukturmerkmale

Aufbauend auf das beschriebene DVGW Kennzahlensystem gehen die nachfolgenden Abschnitte detaillierter auf das Hauptkennzahlensystem sowie die Strukturmerkmale ein. Anhand definierter Kriterien in Bezug auf die Fragestellung wird eine Auswahl der Strukturmerkmale und Kennzahlen getroffen, deren Berechnungsmethoden anschließend weiter erläutert werden. Neben den Strukturmerkmalen werden Datenvariable als systembeschreibende Merkmale aufgenommen. Die Beschreibung der Strukturmerkmale und Datenvariablen ist den Kennzahlen vorangestellt, da diese den Kennzahlen teilweise als Eingangsparameter dienen.

Anschließend wird auf die Auswertungsform bezüglich des Kennzahlenvergleichs zwischen den Versorgungsbereichen eingegangen.

5.4.1 Strukturmerkmale

Strukturmerkmale sind definiert als regionale und naturräumliche Rahmenbedingungen, die vom WVU nicht bzw. nicht kurzfristig verändert werden können. (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016) Jedes Wasserversorgungssystem ist aufgrund der lokalen Strukturmerkmale mit seiner technischen Ausstattung individuell an die strukturellen Rahmenbedingungen angepasst. Daraus ergeben sich entsprechend große Unterschiede in den Systemstrukturen.

Zur Vergleichbarkeit der Kennzahlen untereinander ist es daher notwendig, die Wasserversorgungsstrukturen ebenfalls durch sogenannte Kontextinformationen bzw. Strukturmerkmale zu beschreiben. Im Merkblatt DVGW W 1100-3 sind Strukturmerkmale herausgearbeitet, welche die Wasserversorgung in ihren verschiedenen Bereichen beschreiben. Strukturmerkmale tragen somit zur verbesserten Interpretation von Benchmarking Ergebnissen bei. Die Strukturmerkmale in der Wasserversorgung lassen sich entsprechend der Wertschöpfungskette in die zwei Kategorien „Wasserproduktion“ und „Wassernetze“ einordnen, wobei nochmals zwischen Netzen von Direktversorgung (DV) und Fernversorgung (FV) unterschieden wird. Tabelle 6 zeigt einen Überblick aller vom DVGW Kennzahlensystem festgelegten Strukturmerkmale.

Tabelle 6: Strukturmerkmale der Wasserversorgung (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016, S. 10)

| Wasserproduktion | Wassernetze Direktversorgung (DV) | Wassernetze Fernversorgung (FV) |
|--|--|--|
| Art der Rohwasserressource | | Maximale Höhendifferenz |
| Rohwasserverfügbarkeit | Druckzonen | Druckzonen |
| Gefährdung der Ressource | Bodenklassen | Bodenklassen |
| Belastung der Ressource | Art des Siedlungsraums | |
| Grad der Aufbereitung | Besondere Gefährdung | Besondere Gefährdung |
| Entnahmekapazität Gewinnungsanlagen | Bevölkerungsänderung | Bevölkerungsänderung |
| Rohwassertransport: Förderhöhe | Abgabe Sondervertragskunden | |
| Rohwassertransport: Leitungslänge | Pro-Kopf-Wasserverbrauch | |
| | Metermengenwert | Metermengenwert |
| | Hausanschlussdichte | |
| | Täglicher Spitzenfaktor | Täglicher Spitzenfaktor |

Im Bereich der **Wasserproduktion** werden die Aufgabengebiete der Wasserwirtschaft (inkl. Ressourcenmanagement), der Wassergewinnung und -aufbereitung sowie die damit verbundenen Strukturen betrachtet. Der Bereich der **Wassernetze** befasst sich mit dem **Transport- und Verteilungssystem** (inkl. Zählerwesen) sowie der Wasserspeicherung. (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016, S. 10)

Für die Betrachtung des Leitungssystems der FWF können theoretisch alle Strukturmerkmale des Bereichs Wassernetze, Fernwasserversorgung näher betrachtet werden. Wie anhand der Auswahlkriterien in Kapitel 5.4.3 ersichtlich ist es nicht möglich, hauptsächlich aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit, alle Strukturmerkmale zu berücksichtigen.

Die **maximale Höhendifferenz** zwischen Einspeisepunkt und Abgabestelle betrachtet die vom WVU zu überwindende Höhendifferenz. Die **Anzahl Druckzonen** spielt u.a. eine Rolle für die Beurteilung der Wasserverluste. Das Strukturmerkmal bezüglich der **Bodenklassen** ist so

definiert, dass die Einteilung v.a. einen Rückschluss auf die Kosten von Erdarbeiten bzw. Tiefbauarbeiten gibt. Die Beurteilung eines Gebiets hinsichtlich **besonderer Gefährdungen** bezieht sich u.a. auf Altlasten, Bergbau oder naturräumliche Gefährdungen. Die **Bevölkerungsänderung** soll die Entwicklung der Abnehmerstruktur der letzten Jahre darstellen. Die Strukturmerkmale **Metermengenwert** und **täglicher Spitzenfaktor** beschreiben die Nutzungsintensität der Netze bzw. Auslastung der Ressourcen.

Zusätzlich zu den aufgeführten Strukturmerkmalen sollen weitere Merkmale bzw. Datenvariable erfasst werden, die das Gesamtsystem und die Teilsysteme (VB) charakterisieren und anhand derer sich die Vergleichbarkeit abschätzen lässt. Hierzu gehören u.a. die **Gesamtleitungslänge**, **Leitungsmaterial**, **durchschnittliche Leitungsalter** sowie **Gesamtabgabemenge**. Diese Größen sind gleichzeitig Datenvariable, die ebenfalls als Eingangswerte für verschiedene Kennzahlen benötigt werden.

Eine detailliertere Beschreibung der später ausgewählten Strukturmerkmale findet sich bei den Erläuterungen der Berechnungsmethode in Kapitel 5.4.4.

5.4.2 Hauptkennzahlensystem

Wie in Kapitel 3 definiert, gliedert sich das DVGW Hauptkennzahlensystem in die fünf Leistungsmerkmale Versorgungssicherheit, Qualität, Kundenservice, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit. Diese fünf Merkmalsgruppen untergliedern sich nochmals nach jeweiligen Themenbereichen. Über die in Klammern angegebenen Bezeichnungen lassen sich die Kennzahlen eindeutig definieren und ebenfalls mit dem IWA-Kennzahlensystem verknüpfen. Kennzahlen ohne Bezug zu einer IWA Kennzahl sind i.d.R. neu definierte Kennzahlen. Wird der Bezug zur IWA Kennzahl mit einem Unterstrich und einer Zahl angegeben, handelt es sich um eine modifizierte Kennzahl.

In Anlehnung an die Fragestellung wird ein Überblick über die Kennzahlen aus den Merkmalsbereichen Versorgungssicherheit, Qualität und Nachhaltigkeit gegeben. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 10ff) Eine konkrete Auswahl erfolgt im Anschluss.

Hauptkennzahlen zur Versorgungssicherheit

In die Hauptkennzahlen der Versorgungssicherheit sind augenscheinlich die meisten technischen Datenvariablen einbezogen. Die Kennzahlen gehen u.a. auf quantitative Aspekte der Wasserverteilung sowie auf den technischen Zustand der Infrastruktur ein. Zu den Hauptkennzahlen lassen sich nachfolgende nennen:

- Ressourcenauslastung
 - Nutzung der rechtlich gesicherten Wasserressourcen (Nr. 1, IWA WR2)
 - **Ausschöpfung der rechtlich gesicherten Wasserressourcen am Spitzentag** (Nr.2, IWA WR5_1)
 - Ausschöpfung eigener Entnahmerechte (Jahreswerte) (Nr. 3)
 - Ausschöpfung der Fremdbezugsvereinbarungen (Jahreswert) (Nr. 4)
- Anlagenauslastung
 - Auslastung Aufbereitungskapazität (Spitzenbetrachtung) (Nr. 5, IWA Ph1)
 - Behälterauslastung Spitzentag (Nr. 6, IWA Ph3_1)
 - Auslastungsgrad am Spitzentag (Nr. 7, Branchenkenzahl)
 - *Maximale tägliche Aufbereitungskapazität (Nr. 30, IWA C3)*
- Schäden
 - **Leitungsschäden** (Nr. 8, IWA Op31, Branchenkenzahl)

- Anschlussleitungsschäden (Nr. 9, IWA Op32)
- Hydrantenschäden (Nr. 10, IWA Op33)
- Absperrarmaturenschäden, Versorgung (Nr. 12, IWA Op51)
- Qualitätskontrolle
 - Anzahl Trinkwasseranalysen (Nr. 11, IWA Op40)
- Zuverlässigkeit
 - Unterbrechung der Versorgung je Anschlussleitung (Nr. 13, IWA QS14_1)
 - Versorgungsunterbrechungen (Nr. 14, Branchenkenzahl)

Hauptkennzahlen zur Qualität

Kennzahlen aus dem Bereich Qualität lassen sich u.a. sehr gut nutzen, um Aussagen über den technischen Zustand der Anlagen zu treffen. Hierzu zählen die nachfolgenden Hauptkennzahlen.

- Anlagenüberwachung und Dokumentation
 - Erfüllung Netzinspektion (Nr. 15 IWA Op3_1)
 - Leckkontrolle (Nr. 16, IWA Op4_1)
- Wasserverluste
 - **Reale Verluste je Leistungslänge** (Nr. 17, IWA Op28, Branchenkenzahl)
 - Infrastruktur Verlust Index ILI (Nr. 16, IWA Op4_1)
- Qualität des Trinkwassers und der Dienstleistung
 - Trinkwasserqualität (Nr. 19, IWA QS18, Branchenkenzahl)
 - Managementsystem (Nr. 20, Branchenkenzahl)

Hauptkennzahlen zum Kundenservice

Die Hauptkennzahlen des Kundenservice befassen sich u.a. mit den Themen Kundenbetreuung, Servicequalität sowie Kundenzufriedenheit. Sie geben nur indirekt Aufschluss über technische Aspekte, weshalb diese Kennzahlen nicht näher betrachtet werden.

Hauptkennzahlen zur Nachhaltigkeit

Das Leistungsmerkmal Nachhaltigkeit umfasst 31 Kennzahlen u.a. die Bereiche Ressourcenschutz und -verbrauch, technische und wirtschaftliche Substanzerhaltung und soziale Kriterien. Nachfolgend wird auf Bereiche eingegangen, die im Zusammenhang mit der späteren Auswahl relevant erscheinen.

- Ressourcenschutz
 - Rohwasserqualität (Indexwert) (Nr. 40, Branchenkenzahl)
 - Wasserdargebot (Indexwert) (Nr. 41, Branchenkenzahl)
- Ressourcenverbrauch
 - Standardisierter Energiebedarf Wasserförderung (Nr. 42, IWA Ph5_1)
 - Energiebedarf Wasserförderung (Nr. 43, IWA Ph17_1)
 - Energieanteil Trinkwasserproduktion (Nr. 44)
 - Energieanteil Wassernetz (Nr. 45)
 - Anteil regenerativer elektrischer Energie (Nr. 46)
 - Gesamtenergieverbrauch (Nr. 47, IWA Ph25, Branchenkenzahl)
- Technische Substanzerhaltung
 - Leitungsrehabilitation (Nr. 48, IWA Op16, Branchenkenzahl)
 - **Leitungsrehabilitation (10 Jahres-Durchschnitt)** (Nr. 49, IWA Op16_1)
 - **Nachhaltige Netzrehabilitation (Nr. 50)**

- Leitungssanierung und -erneuerung (Rehabilitationsrate) (Nr. 51)
- Leitungssanierung und -erneuerung (10 Jahres-Durchschnitt) (Nr. 52)
- Anschlussleitungsrehabilitation (Nr. 53)
- **Prozentuale Wasserverluste (Rohrnetzeinspeisung)** (Nr. 54, IWA Fi46_1)
- Wirtschaftliche Substanzerhaltung
 - Mittlere jährliche Investition Netz je km Rohrnetzlänge (10-Jahres-Betrachtung) (Nr. 58)
 - Sanierungs- und Ersatzinvestitionsquote Wasserversorgung (Nr. 59)

Hauptkennzahlen zur Wirtschaftlichkeit

Die Hauptkennzahlen zur Wirtschaftlichkeit befassen sich mit dem Personal, den Ertragserlösen sowie den Kosten- und Aufwandsanalysen. Im Zuge dieser Arbeit soll die Bewertung aus technischer Sichtweise erfolgen, weshalb die Betrachtung der wirtschaftlichen Kennzahlen in diesem Zusammenhang zunächst ausgeklammert wird.

Die hier vorgestellten Kennzahlen bilden nur einen Auszug aus dem DVGW Kennzahlensystem, neben dem viele weitere Kennzahlen je nach Fragestellungen in der Wasserversorgung Anwendung finden. Unter dem Gesichtspunkt der Rehabilitationsplanung und internen Unternehmenssteuerung erfolgt im Anschluss eine weitere Auswahl von Kennzahlen, die sich dazu eignen den technischen Zustand weiter zu beschreiben. Das Merkblatt weist ebenso darauf hin, dass eine individuelle Ergänzung der Hauptkennzahlen auf Basis der definierten Datenvariablen je Betrachtungsfokus empfehlenswert ist. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 15)

5.4.3 Auswahl relevanter Kennzahlen und Strukturmerkmale

Nachfolgend aufgestellte Fragestellungen und Kriterien dienen der konkreten Auswahl von Kennzahlen und Strukturmerkmalen, die für den in dieser Arbeit angestrebten Kennzahlenvergleich zum Einsatz kommen. Die Auswahlkriterien dienen der Prüfung, ob der Bezug zur Unternehmensstruktur und relevanten Fragestellung sichergestellt ist. Des Weiteren werden benötigte Eingangsdaten mit der aktuellen Datenverfügbarkeit im Unternehmen abgeglichen.

Die Auswahl erfolgt aus den vorgestellten Strukturmerkmalen und Kennzahlen sowie weiteren Datenvariablen.

Auswahlkriterien

- Welche Kennzahlen/ Strukturmerkmale werden bei den Benchmarking Studien erhoben und stehen zur Verfügung? (W 1100-2/ W1100-3)
- Welche Kennzahlen/ Strukturmerkmale sind relevant für die Fernwasserversorgung?
- Mit welchen Kennzahlen/ Strukturmerkmalen lassen sich Rückschlüsse auf die quantitative und qualitative Versorgungssicherheit schließen?
- Mit welchen Kennzahlen/ Strukturmerkmalen lassen sich Rückschlüsse auf den **Zustand** des Verteilungssystems ziehen? (Leitungssystem Zustand)
- Mit welchen Kennzahlen/ Strukturmerkmalen lassen sich Rückschlüsse auf den langfristigen Zustand bzw. die Entwicklung des Verteilungssystems ziehen (**Nachhaltigkeit**)?
- Welche Kennzahlen/ Strukturmerkmale sind aus FWF-internen Daten abzuleiten bzw. welche Daten sind verfügbar?
- Welche Daten wären zusätzlich von extern verfügbar?

- Aufwand-Nutzen-Verhältnis zwischen Beschaffung/Aufbereitung der Daten und Nutzen?

Mit Hilfe der definierten Leitfragen und mit einer Auswertungsmatrix sind die relevanten und realisierbaren Kennzahlen und Strukturmerkmale identifiziert worden. In Absprache mit der Werkleitung konnte letztendlich, wie in Tabelle 7 zu sehen, eine für die Untersuchungsfragen sinnvolle Auswahl getroffen werden.

Tabelle 7: Auswahl Kennzahlen und Strukturmerkmale (Eigene Darstellung)

| Strukturmerkmale | Kennzahlen |
|---------------------------------|---|
| Maximale Höhendifferenz | Ausschöpfung gesicherter Wasserressourcen am Spitzentag |
| Druckzonen | Leitungsschäden |
| Metermengenwert | Reale Wasserverluste |
| Täglicher Spitzenfaktor | Leitungsrehabilitation |
| | Prozentuale Wasserverluste |
| | Nachhaltige Netzrehabilitation |
| Weitere Merkmale und Kennzahlen | |
| Gesamtleitungslänge | Schadensrate bezogen aufs mittlere Alter |
| Mittlere Leitungsalter | |
| Anteile Leitungsmaterial | |
| Gesamtwasserabgabe | |
| Leitungsdichte | |

Als weiterer Vergleichsparameter zwischen den Versorgungsbereichen werden zusätzliche Merkmale ausgewählt. Aus einem Forschungsvorhaben mit einer ähnlichen Fragestellung, werden zudem weitere Kennzahlen identifiziert, wobei ebenfalls die Anwendbarkeit geprüft werden kann.

Auf die ausgewählten Kennzahlen und Strukturmerkmale wird beim jeweiligen Berechnungsansatz detaillierter eingegangen.

5.4.4 Berechnung der ausgewählten Strukturmerkmale

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Berechnungswege bzw. Datengrundlagen der ausgewählten Strukturmerkmale sowie die Ermittlung ergänzender Merkmale beschrieben.

Gesamtleitungslänge

Die zu vergleichenden Versorgungsbereiche unterscheiden sich u.a. anhand ihrer Größe und somit auch durch ihre Leitungslängen. Die Strukturmerkmale werden zum besseren Vergleich daher durch die Angabe der absoluten Leitungslängen ergänzt, was der Datenvariablen IWA C8 entspricht. Diese kommt ebenfalls für die Berechnung verschiedener Kennzahlen zum Einsatz.

Die Leitungslängen der einzelnen Versorgungsbereiche werden aus dem GIS-Datenbestand der FWF ermittelt. Zur Ermittlung aus dem Gesamtdatenbestand müssen einige Filterkriterien berücksichtigt werden. Bei der Ermittlung werden die sogenannten *FWA-Leitungsabschnitte* ausgewählt, die das *Medium Trinkwasser* transportieren, sich aktuell *im Betrieb* befinden und der sogenannten *Bestandsgeometrie* entsprechen. Bei der Bestandsgeometrie werden Leitungen und Armaturen in Gebäuden wie WW, HB und Schächten nicht mitberücksichtigt. Je nach

Detaillierungsgrad und Zeitpunkt des Datenexports aus dem System kann es gegenüber anderen FWF Dokumenten zu geringen Abweichungen kommen.

Prozentualer Anteil an GG-Leitungen

Innerhalb des FWF-Leitungssystems gibt es einige Leitungsabschnitte des Materialtyps Grauguss, der sogenannten Generation 3a (vgl. Generationsbildung Kapitel 5.5.2.3). Diese Generation entspricht den ältesten Leitungen des Systems und ist aufgrund geringen Korrosionsschutzes (keine Zementmörtelauskleidung) gegenüber den anderen metallischen Leitungen als schadensanfälliger eingestuft. Daher wird als Merkmal der prozentuale Längenanteil an GG Generation 3a bezogen auf die Gesamtlängen der VB dargestellt.

Die Abbildung vom Anteil des schwächsten Materialtyps soll es erlauben evtl. Rückschlüsse auf eine hohe Schadensrate oder hohe Wasserverluste ziehen zu können.

Durchschnittliches Leitungsalter

Für die Berechnung des durchschnittlichen Leitungsalters wird ein gewichteter Mittelwert nach dem Ansatz vom Benchmarkingunternehmen Aquabench verwendet. Zur Berechnung müssen die Leitungsabschnitte Parameter zu Leitungslänge sowie Leitungsalter bzw. Verlegejahr besitzen. Es folgt eine Einteilung der Leitungsabschnitte in die fünf nachfolgenden Altersklassen, denen jeweils ein Gewichtungsfaktor aus dem mittleren Alter zugeordnet ist.

Tabelle 8: Altersklassen zur Bestimmung des Durchschnittsalters (Eigene Darstellung)

| Altersklasse | Altersklasse [Jahre] | Gewichtungsfaktor (GF) |
|--------------|----------------------|------------------------|
| 1 | 0 - 25 | 12,5 |
| 2 | 25 - 50 | 38 |
| 3 | 50 - 75 | 63 |
| 4 | 75 - 100 | 88 |
| 5 | > 100 | 112 |

Der Faktor wird mit der Summe der Leitungskilometer der jeweiligen Altersklasse (Altersklassenlänge AKL) multipliziert. Am Ende werden alle Gewichtungen durch die Summe der Leitungslänge wie folgt dividiert.

$$\frac{\sum [\sum AKL_1 \cdot GF_1 + \sum AKL_2 \cdot GF_2 \dots]}{\sum AKL_1 + AKL_2 \dots}$$

oder

$$\frac{\sum [\text{Leitungslänge je Altersklasse} \cdot \text{Altersklassenfaktor}]}{\sum \text{Leitungslängen}}$$

Eine weitere Untergliederung kann in Zubringer-, Haupt- und Versorgungsleitung oder nach Materialien vorgenommen werden. Die FWF Leitungen entsprechen Fernversorgungsleitungen (Zubringerleitungen), so dass eine Untergliederung lediglich bezüglich der einzelnen VB vorgenommen wird.

Leitungsichte

Ein zusätzliches Merkmal der Versorgungsbereiche soll anhand der Leitungsichte gebildet werden. Hierbei wird die Leitungslänge in Kilometern auf die Gesamtfläche des Bereichs in Quadratkilometern bezogen.

$$\frac{\text{Fläche des VB [km}^2\text{]}}{\text{Leitungslänge des VB [km]}}$$

Anhand dieses Merkmals kann der Vernetzungsgrad sowie der Abdeckungsgrad im jeweiligen VB betrachtet werden. Gleichzeitig wird die Weitläufigkeit des Fernwasserversorgungssystems beschrieben.

Mittlere Gesamtwasserabgabe der letzten 10 Jahre

Als weiteres größenbezogenes Merkmal werden die gemittelten Gesamtwasserabgabemengen in Kubikmetern pro Jahr der letzten 10 Jahre aus der Wassermengenbilanz (s. Kapitel 5.2) mit in die Merkmalsausprägung aufgenommen. Die Wassermengen dienen ebenfalls als Eingangsgröße für die Berechnung verschiedener Kennzahlen und Strukturmerkmale. Es entspricht der Datenvariablen IWA A14, wobei hier jedoch ein Mittelwert gebildet wird.

Maximale Höhendifferenz

Die maximale Höhendifferenz wird für jeden Versorgungsbereich aus der geodätischen Höhe des Einspeisepunktes und des höchsten Abgabepunktes berechnet. Als Einspeisepunkte sind die Wasserwerke bzw. im Fall des Fremdwasserbezugs die Übergabestellen bzw. der Übergabehochbehälter zu identifizieren.

$$H_{min} \leq EP \leq H_{max}$$

Beim Fremdwasserbezug von benachbarten FWVU kann es vorkommen, dass der Einspeisepunkt, also der Übergabehochbehälter, gleichzeitig der höchste Punkt im VB ist. Die maximale Höhendifferenz entspricht für diesen VB null. Im Normalbetrieb werden für die Verteilung ebenfalls keine weiteren Pumpleistungen benötigt.

Das Strukturmerkmal der maximalen Höhendifferenz beschreibt die Ausprägung der Topografie und soll in erster Linie einen Rückschluss auf höhere Kosten im Energieeinsatz bzw. Baukosten geben. Gleichzeitig erfordern große Höhendifferenzen in vielen Fällen eine größere Komplexität des Verteilungssystems und erhöhen den Aufwand bei Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung. (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016) Des Weiteren kann von einer leicht höheren Beanspruchung der Betriebsmittel ausgegangen werden.

Anzahl der Druckzonen

Die Druckzonen je Versorgungsbereich sind im strukturellen Aufbau des FWF Systems bereits als Versorgungszonen festgelegt und können so übernommen werden. Eine Versorgungszone entspricht einer Zone gleichen Drucks und lässt sich i.d.R. über den Ausgangsbehälter (HB oder WT) bestimmen. In einzelnen Fällen werden für einzelne Abnehmer Druckerhöhungsanlagen (DEA) oder Pumpanlagen eingesetzt.

Die Definition der Druckzonen sowie der Betriebsweisen in der FWF sind dem Kapitel 4.3 zu entnehmen.

Bodenklassen

Die Bodenklassen bzw. Bodenbeschaffenheit spielt eine wichtige Rolle zur Beurteilung der Umgebung von Rohrleitungen. Die *Bodenklassen* des hier definierten Strukturmerkmals werden jedoch zur Beurteilung von Kosten (Baukosten) herangezogen. Die Beeinflussung des Bodens auf die Rohrleitungen (z.B. Korrosionsaggressivität für metallische Rohrleitungen, Bodengefüge

bezogen auf Setzungen, Korngrößenverteilung des Bodens bezüglich der Betrachtung mechanischer Reibungen oder Spannungen) kann anhand dieser Definition nicht direkt vorgenommen werden. Hinzu kommt, dass aktuelle Information zu Bodenklassen im Verbandsgebiet im FWF Datenbestand nicht vorhanden sind. Aus diesen Gründen wird auf die Abbildung dieses Strukturmerkmals verzichtet.

Besondere Gefährdungen

Hinsichtlich der großen Flächen des Verbandsgebiets und der Versorgungsbereiche kann die Beurteilung zu besonderen Gefährdungen nicht ohne eine gesonderte Untersuchung durchgeführt werden. Die Leitungen der FWF verlaufen vorwiegend außerstädtisch im ländlichen Gebiet, weshalb der Einfluss von Verkehr und Industrie geringer einzustufen ist. Die aktuell fehlende Informationsgrundlage zu direkten Berührungspunkten von definierten, besonderen Gefährdungen mit Leitungsabschnitten erschwert die Abbildung dieses Strukturmerkmals. In dieser Arbeit wird daher auf besondere Gefährdungen nicht eingegangen.

Bevölkerungsänderung

Anhand des Strukturmerkmals „Bevölkerungsänderung der letzten 20 Jahre“, lassen sich Entwicklungen und Änderungen der Nachfrage und Abnehmerstruktur innerhalb einer Wasserversorgungsstruktur nachvollziehen und ggf. zukünftige Anpassungsmaßnahmen erarbeiten. (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016, S. 43)

Das Strukturmerkmal der Bevölkerungsänderung lässt sich auf Ebene der Versorgungsbereiche nicht exakt berechnen und wird daher hier nicht mit aufgenommen. Die Bevölkerungszahlen liegen ausschließlich auf Gemeindeebene vor. Teilweise werden Ortsteile einer Gemeinde aus unterschiedlichen VB versorgt, in anderen Fällen nur teilweise von der FWF versorgt (vgl. hierzu auch die WMB). Eine genaue Ermittlung der Bevölkerung je VB bzw. Ermittlung der angeschlossenen Einwohner an das FWF System ist mit dem aktuellen Datenbestand nicht möglich.

Metermengenwert

Der „Metermengenwert“ beschreibt die Wasserabgabe des Betrachtungsraumes bezogen auf die Leitungslänge innerhalb eines Versorgungsgebietes. Er stellt damit ein Maß für die Nutzungsintensität des Versorgungssystems dar. Gleichzeitig vermittelt er ein Bild über die Abnehmerstruktur bzw. die Dichte der Wasserabgaben je Leitungskilometer.

Die Berechnung erfolgt über die Gesamttrinkwasserabgabe in Kubikmetern durch die Gesamtleitungslänge in Metern (ohne Anschlussleitungen). (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016, S. 49)

$$\frac{\text{Gesamtwasserabgabe} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}} \right]}{\text{Leitungslänge}}$$

Die Berechnung erfolgt wie zuvor für jeden Versorgungsbereich. Um eine mittlere Nutzungsintensität betrachten zu können, werden als Eingangsgröße für die Gesamtwasserabgabe die gemittelten Werte der Jahre 2011 bis 2015 und die jeweiligen Leitungslängen der VB verwendet.

Der Vergleichsbereich für FVVU ist mit einem Delta von 100 (+/- 50) angegeben, d.h. ähnliche Ergebnisse mit einer Abweichung von +/- 50 vom Eigenwert identifizieren potentielle Vergleichspartner. (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016, S. 49)

Täglicher Spitzenfaktor absolut

Der tägliche Spitzenfaktor gibt Aufschluss über die Abnehmerstruktur eines Versorgungsgebietes. Je nach Höhe dieses Faktors lässt sich ableiten inwieweit die Reservekapazitäten oder Redundanzen eines Systems ausgebaut sein sollten, um den Spitzenbedarf abdecken zu können. Je höher der Faktor ausfällt, desto höher sollten die Reservekapazitäten oder Verbundmöglichkeiten ausgebaut sein. Er kann als Orientierung für die Auslegung der Leitungssysteme im Rahmen einer Rohrnetzberechnung verwendet werden. (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016, S. 53)

Die Berechnung erfolgt mit dem maximalen Spitzentagesbedarf (Netzeinspeisung) der letzten 10 Jahre mal 365 durch die Jahresnetzeinspeisung im Spitzenjahr der letzten 10 Jahre.

$$\frac{Q_{dmax} \left[\frac{m^3}{d} \right] \cdot 365 [d]}{Q_{max10a} \left[\frac{m^3}{a} \right]}$$

Um eine unverhältnismäßig aufwändige Datenaufbereitung zu vermeiden, wird lediglich der Tagesspitzenwert aus dem Jahr 2015 ermittelt, welches generell als Spitzenjahr der letzten Jahre angesehen werden kann. Die Jahresmaximaleinspeisung kann aus der bereits gebildeten Wassermengenbilanz der letzten 10 Jahre entnommen werden.

Tagesspitzenfaktoren liegen i.d.R. zwischen 1,3 und 2, wobei die Vergleichsgruppen für FWVU ein Delta von 0,2 mit einer Abweichung von +/- 0,1 berücksichtigen sollten. (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016, S. 53)

5.4.5 Berechnung der ausgewählten Kennzahlen

Nach der Auswahl der relevanten Kennzahlen werden im nachfolgenden Abschnitt die einzelnen Berechnungsansätze sowie Modifikationen beschrieben.

Ausschöpfung der rechtlich gesicherten Wasserressourcen am Spitzentag (Nr.3,IWA WR5_1)

Mit Hilfe dieser Kennzahl lässt sich ermitteln, inwieweit die rechtlich oder vertraglich gesicherten Wasserressourcen an einem Spitzenbedarfstag genutzt werden. Das Verhältnis von Verfügbarkeit und Bedarf stellt somit den Ausschöpfungsrat dar. Für die Berechnung sind die folgenden Datenvariablen erforderlich:

- Maximale Rohrnetzeinspeisung am Spitzentag [m^3/d] (IWA A29)
- Tagesmaximalwert der eigenen Wasserentnahmerechte [m^3/d] (IWA A30)
- Tagesmaximalwert der externen Wasserbezugsvereinbarungen [m^3/d] (IWA A31)

Die Berechnung der Kennzahl (Nr. 2, IWA WR5_1) erfolgt mit der Formel:

$$\frac{A29}{A30 + A31} \cdot 100 \%$$

Die Ergebnisse sollten eine Zahl kleiner als 100 Prozent ergeben. Werte größer als 100 Prozent deuten auf eine Überlastung der Ressourcen hin, was wiederum eine Gefährdung der Versorgungssicherheit darstellt. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 89)

Im Anwendungsfall der FWF sind die rechtlich und vertraglich gesicherten Wasserressourcen nicht exakt auf die Versorgungsbereiche aufzuteilen. Das Brunnenfeld Haslach/ Matzmannsdorf dient beispielsweise der Versorgung zweier VB, besitzt jedoch nur eine maximale Entnahmerechtsmenge. Ähnlich verhält es sich bei den Wasserlieferungsverträgen mit den

benachbarten Fernwasserversorgern. Die vertraglich festgelegte Wassermenge, wird beispielsweise an zwei oder mehr VB verteilt.

Dennoch wird ausgehend von den tatsächlichen Abgabemengen versucht, das prozentuale Verhältnis für Aufteilung der Maximalbezugsmengen zu nutzen bzw. eine Maximalgrenze des verfügbaren Wasserdargebots pro VB festzulegen. Beispielsweise wird aus dem Mittelwert der tatsächlichen Entnahmen bzw. Abgaben der letzten Jahre an die VB Haslach und VB Matzmannsdorf das prozentuale Verhältnis gebildet, welches die Aufteilung der maximalen Entnahmerechte bestimmt. Anhand dieser Grenze und des Wasserbedarfs am Spitzentag im Jahr 2015 wird der Auslastungsgrad bestimmt.

Indirekt kann somit abgeleitet werden, für welchen VB (bei hohem Auslastungsgrad) eine Verbundleitung mit benachbarten Versorgungsbereichen eine besonders wichtige Bedeutung hat.

Die Betrachtung der „Ausschöpfung eigener Entnahmerechte (Jahreswerte) (Nr. 3)“ sowie „Ausschöpfung der Fremdbezugsvereinbarungen (Jahreswert) (Nr. 4)“ sind eigenständige Kennzahlen, auf die hier jedoch nicht weiter eingegangen werden soll.

Eine Kennzahl zur Anlagenauslastung des Verteilungsnetzes kann aus den einfachen Eingangsgrößen nicht erfasst werden, da zur Betrachtung des Leitungssystems stets eine aufwändige Rohrnetzberechnung benötigt wird. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 92)

Leitungsschäden (Nr. 8, IWA Op31)

Die erforderlichen Datenvariablen für die Berechnung sind die Gesamtleitungslänge (IWA C8) sowie die Anzahl der Schäden von Haupt-, Versorgungs- (D28) und Zubringerleitungen (D69). Die Anzahl der Leitungsschäden kann aus der Schadensstatistik entnommen werden. Für die Betrachtung des FWF Leitungssystems ist generell von Fernleitungen also Zubringerleitungen auszugehen, was der Datenvariablen D68 entspricht. Die Berechnung der Kennzahl (Nr. 8, Op31) gibt die Anzahl der Leitungsschäden im Jahr pro 100 km Leitungslänge wieder:

$$\frac{(D28 + D69)[n]}{C8 [km]} \cdot 100$$

Offiziell beinhaltet die Kennzahl für das Benchmarking die Leitungsschäden, die durch Fremdeinwirkungen (z.B. Baggararbeiten) entstanden sind. In diesem Anwendungsfall wird die Kennzahl nur unternehmensintern genutzt, weshalb Schäden durch Fremdeinwirkungen nicht berücksichtigt bzw. herausgefiltert werden. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 87)

Nach der beschriebenen Methode wird die Kennzahl zunächst für alle VB für das Jahr 2015 berechnet.

Damit ein sinnvoller Vergleich der VB durchgeführt werden kann, wird die Kennzahl weiter modifiziert (vgl. hierzu Kapitel 5.5.3.1). Die jährlichen Schadensereignisse bei Fernwasserversorgern sind im Vergleich sehr gering und bei dem Leitungssystem der FWF nicht zwingend jährlich homogen verteilt. Innerhalb der VB kann es vorkommen, dass in einigen Jahren kein Schaden eintritt und innerhalb eines Jahres gleich zwei bis drei. Aus diesem Grund wird versucht, ähnlich wie bei der Reha-Rate, eine annähernd gemittelte Schadensrate zu berechnen. Hierzu werden zwei Ansätze verfolgt, die auf den gemittelten Daten der letzten 20 Jahre basieren. Es wird davon ausgegangen, dass sich die aktuellen Leitungslängen nicht maßgeblich geändert sondern lediglich erneuert haben, weshalb mit diesen gerechnet wird.

Beim ersten Ansatz werden für die Bildung des Mittelwerts die Schadensereignisse berücksichtigt, die den aktuell in Betrieb befindlichen Leitungsabschnitten zuzuordnen sind. Über diesen Ansatz kann z.B. eine Art aktuelle Schadensbelastung der Leitungsabschnitte dargestellt werden.

Der zweite Ansatz berücksichtigt zusätzlich die Schäden an Leitungen, die in den letzten Jahren bereits stillgelegt und durch neue Leitungen ersetzt wurden. Der Mittelwert bildet somit eine historische Schadensrate. Hieran lassen sich beispielweise die Reha-Maßnahmen besser erklären. Anhand der Betrachtung beider Mittelwerte kann die Entwicklung des Leitungssystems bzw. der Erneuerung abgeleitet werden. Bei der Betrachtung der Ergebnisse ist zu beachten, dass zwischen 1995 und 2001 die Daten der Schadensereignisse bei den stillgelegten Leitungen nicht vollständig sind, so dass nicht alle Schäden den VB zugeordnet werden können.

Der Vergleich der Raten (vgl. Abbildung 28) hat gezeigt, dass sich der erste Ansatz allgemein besser zur Beurteilung des aktuellen Leitungsbestands eignet.

Die Beurteilung der Kennzahl kann gemäß DVGW W 400-3 folgen (vgl. hierzu Tabelle 16). Zu beachten ist, dass die Kennzahl die Schäden pro 100 Kilometer bildet, weshalb sich der Grenzwert um zwei Zehnerpotenzen verschiebt und damit die Grenze für eine niedrige Schadensrate bei eins liegt.

Weitere Ansätze zur Auswertung der Schadensstatistik, z.B. Schadensursache oder Rohrleitungsmaterialien, sind dem Kapitel 5.5.2.4 zu entnehmen.

Reale Verluste je Leitungslänge (Nr. 17, IWA Op28)

Zur Berechnung der realen Wasserverluste je Leitungslänge sind verschiedene Datenvariablen erforderlich. Zum einen wird die Gesamtleitungslänge L_N der in Betrieb befindlichen Zubringer-, Haupt- und Versorgungsleitungen (IWA C8) benötigt, vgl. hierzu auch Strukturmerkmal Gesamtleitungslänge. Des Weiteren sind die realen Wasserverluste Q_{VR} des Speicher- und Verteilungssystems in Kubikmetern pro Jahr zu bestimmen (entspricht der Datenvariablen IWA A19). Zur Ermittlung des Q_{VR} ist es wiederum notwendig die Einspeisemenge Q_E , die tatsächliche Abgabemenge Q_A , Betriebswassermengen Q_{AN} sowie die scheinbaren Wasserverluste Q_{VS} zu kennen. Die im Kapitel 5.2 bereits definierten Bilanzgrößen in Abbildung 11 und Abbildung 10 zeigen die schematische Darstellung und Zusammensetzung der Wasserbilanz.

Für die Berechnung der Kennzahl kann auf die zuvor ermittelten Daten der Wassermengenbilanz zurückgegriffen werden. An dieser Stelle ist jedoch nochmals darauf hinzuweisen, dass die Bilanzierungen der einzelnen Versorgungsbereiche nicht zu 100 Prozent voneinander zu trennen sind. Die Betriebsführung im Normalbetrieb kann bei Wasserengpässen, Baumaßnahmen, Leitungsspülungen oder aus anderen Gründen umgestellt werden. In diesen Fällen kann es zu Verschneidungen der Wassermengen zwischen VB kommen, die nicht immer eindeutig ermittelt werden können. Die Einspeisemenge Q_E birgt hierbei einen gewissen Unsicherheitsfaktor.

Ermittelte Betriebswassermengen sowie Wasserabgaben bei Baumaßnahmen werden als nicht in Rechnung gestellte Wasserabgaben Q_{AN} zusammengefasst. Die tatsächlich abgerechneten Abgabemengen Q_{AR} sind in den Abrechnungen sehr gut erfasst. Die sogenannten Scheinverluste, die durch Mess-, Ablese- und Abgrenzungsfehler entstehen können, basieren i.d.R. auf Schätzwerten. (DVGW W 392 (A), 12/2015, S. 10) Die Verluste werden daher wie folgt berechnet:

$$Q_V = Q_E - Q_{AR} - Q_{AN}$$

Die realen Wasserverluste ergeben sich aus:

$$Q_{VR} = Q_E - Q_{AR} - Q_{AN} - Q_{VS}$$

Die eigentliche Kennzahl ist als sogenannter **spezifischer realer Wasserverlust** q_{VR} definiert. Dieser bezieht die Wasserverluste auf die jeweilige Leitungslänge und berechnet sich wie folgt:

$$q_{VR} = \frac{Q_{VR}}{8760 \cdot L_N}$$

Dabei ist:

Q_{VR} realer Wasserverlust in m^3/a (wie zuvor beschrieben)

K_1 Anzahl der Stunden pro Jahr (hier bereits eingesetzt: 8.760)

L_N Leitungslänge der Bezugsgröße (ohne Anschlussleitungen) in km

(DVGW W 392 (A), 12/2015, S. 8)

Für eine Bewertung der Wasserverlustmengen kann die nachfolgende Tabelle 9 zur Orientierung dienen. Die Bewertungsskala ist jeweils auf das Verhältnis von Abgabemenge pro Leitungslänge, also eine Art Meternmengenwert bezogen. Die Empfehlung für den Inspektionsturnus lässt sich als Gütebewertung auslegen.

Tabelle 9: Bewertung der spezifischen realen Wasserverluste (Eigene Darstellung nach DVGW W 400-3-B1 (A), 08/2015, S. 11)

| Wasserverlust nach DVGW W 392 (A) für | | | Turnus* |
|---|--|--|--------------|
| $Q_E/(L_N \cdot a) > 15.000 \text{ m}^3/(\text{km} \cdot \text{a})$ | $5.000 \text{ m}^3/(\text{km} \cdot \text{a}) \leq Q_E/(L_N \cdot a) \leq 15.000 \text{ m}^3/(\text{km} \cdot \text{a})$ | $Q_E/(L_N \cdot a) < 5.000 \text{ m}^3/(\text{km} \cdot \text{a})$ | |
| $q_{VR} < 0,10$ | $q_{VR} < 0,07$ | $q_{VR} < 0,05$ | alle 6 Jahre |
| $0,10 \leq q_{VR} \leq 0,20$ | $0,07 \leq q_{VR} \leq 0,15$ | $0,05 \leq q_{VR} \leq 0,10$ | alle 3 Jahre |
| $q_{VR} > 0,20$ | $q_{VR} < 0,15$ | $q_{VR} < 0,10$ | Jedes Jahr |

*Die genannten Grenzwerte gehen von einem durchschnittlichen Betriebsdruck von ca. 3,5 bar aus. Je größer die Abweichung des Betriebsdrucks vom vorgenannten Wert ausfällt, desto weniger geeignet ist der resultierende Turnus. [...]

Die Bewertungsgrößen werden ebenfalls zur Bildung der nachhaltigen Reha-Rate herangezogen, wobei die Werte der ersten Zeile der drei Bereiche für eine großstädtische (0,1), städtische (0,07) und ländliche (0,05) Versorgungsstruktur stehen. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 31)

Leitungsrehabilitation (10 Jahres-Durchschnitt) (Nr. 49, IWA Op16_1)

Für die Bestimmung der Rehabilitationsrate sind als Eingangsparameter die Datenvariablen, Leitungsrehabilitationslänge (IWA D20; bzw. D21; D22) im Bezugszeitraum sowie die aktuelle Gesamtleitungslänge (IWA C8) jeweils in Kilometern zu bestimmen. Die Leitungsrehabilitation, (D20) umfasst Reinigungs-, Sanierungs- und Erneuerungsverfahren (vgl. auch Abbildung 1) (DVGW W 403 (M), 04/2010), wobei für die Untergliederung die Datenvariablen D21 Leitungssanierung und D22 für Leitungserneuerung vergeben werden. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 53) Für die Betrachtung der Kennzahl Nr. 49 „Rehabilitation im 10 Jahresdurchschnitt“, werden die Datenvariablen modifiziert, indem sie die Reha, Sanierung oder

Erneuerung als Mittelwert der letzten 10 Jahre angeben, in diesem Fall D20_1, D21_1 bzw. D22_1.

Die Berechnung der Kennzahl (Nr. 49; Op16_1) lautet (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 97)

$$\frac{D20}{C8} \cdot 100\%$$

Da im Fall der FWF die Rehabilitation hauptsächlich in Form der Leitungserneuerung stattfindet, werden als Eingangswerte für das 10 Jahresmittel die Neuverlegungen im Zeitraum von 2005 – 2015 für den jeweiligen VB betrachtet. Korrekterweise würde die Formel wie folgt lauten:

$$\frac{D22_1}{C8} \cdot 100\%$$

Aus betriebsorganisatorischen, wirtschaftlichen oder anderen unvorhersehbaren Gründen kann die Leitungsrehabilitation von Jahr zu Jahr stark schwanken, weshalb der Ansatz des zehnjährigen Durchschnitts, wie im DVGW System definiert, aussagekräftiger ist. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 97) Die Kennzahlen Nr. 48, 50, 51 und 52 müssen aus oben besagtem Grund nicht zusätzlich berechnet werden. Für die Betrachtung der Fernwasserleitungen fällt ebenfalls die Kennzahl Nr. 53 für Anschlussleitungsrehabilitation weg.

Die tatsächliche jährliche Reha-Rate würde sich aus dem Verhältnis der nachfolgenden Formel ergeben.

$$\text{Reharate} = \frac{\text{jährliche Neuverlegung}}{\text{Gesamtleitungsbestand}} \cdot 100 [\%]$$

Für die Beurteilung einer nachhaltigen Rehabilitation sollte allgemein eine jährliche oder durchschnittliche Reha-Rate von z.B. einem Prozent erreicht werden, wenn von einer durchschnittlichen Lebensdauer der Leitungen von 100 Jahren ausgegangen wird. Bei geringer zu erwartender Lebensdauer erhöht sich die anzustrebende prozentuale Reha-Rate entsprechend:

$$\text{Nachhaltige Reha} - \text{Rate} = \frac{100\%}{\text{Lebensdauer}}$$

Die durchschnittliche Lebensdauer der Leitungen sowie das durchschnittliche Leitungsalter sind daher ebenso zu berücksichtigen (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 97).

Nachhaltige Rehabilitation (Nr. 50)

Die Kennzahl der nachhaltigen Rehabilitation gehört zu einer der neu gebildeten Kennzahlen innerhalb des DVGW W 1100-2. Die Kennzahl soll dazu dienen den Nachhaltigkeitsgrad der Rehabilitation zu messen. Zur Berechnung dieser Kennzahl werden daher die zuvor gebildeten Kennzahlen zu Leitungsschäden, Wasserverlusten und Reha-Raten genutzt. Die Kennzahl berechnet sich aus dem nachfolgenden Verhältnis:

$$\text{Nachhaltige Reha} = \frac{\frac{\text{Reharate (Nr. 50)}}{\left(\frac{\text{reale Wasserverluste } q_{VR} \text{ (Nr. 17)}}{X}\right)}}{(\text{Schadensrate (Nr. 8)}) \cdot 10}$$

Für die Reha-Rate kommt normalerweise die jährliche Rate zum Einsatz. Im Fall dieser Berechnung wird die zuvor gebildete Reha-Rate des 10-Jahres-Durchschnitts genutzt. Das

gleiche gilt für die realen Wasserverluste. Auch hier wird die modifizierte Kennzahl über den 10 Jahresdurchschnitt eingesetzt. Der Faktor X bezieht sich auf den minimalen Inspektionsturnus der Tabelle 9, wobei dieser für jeden VB individuell bestimmt wird. Die Schadensrate wird ebenfalls mit dem Grenzwert einer niedrigen Schadensrate in Bezug gesetzt (vgl. Tabelle 16), indem die Schadensrate durch diesen dividiert bzw. mit dem Kehrwert multipliziert wird. Als Standardwert ist hier in der Formel der Wert 0,1 bzw. 10 angegeben. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 31)

Ein sinnvolles Berechnungsergebnis ergibt sich lediglich für die Versorgungsbereiche, in denen tatsächlich eine Rehabilitation innerhalb der letzten 10 Jahre stattgefunden hat.

Prozentuale Wasserverluste (Rohrnetzeinspeisung) (Nr. 54, Fi46_1)

Die prozentualen Wasserverluste lassen sich ableiten aus den zuvor ermittelten Wasserverlusten im Verhältnis zur Gesamtwasserabgabe. Die Kennzahl betrachtet jedoch im Vergleich zu den realen Wasserverlusten alle nicht bezahlten Wassermengen. Die Formel lautet:

$$\frac{A21}{A27} \cdot 100 [\%]$$

Dabei steht A21 für unberechnete und unbezahlte Trinkwasserabgaben (Non revenue Water, vgl. Abbildung 11) und A27 für die Rohrnetzeinspeisung im Erhebungszeitraum. (DVGW W 1100-2 (M), 02/2016, S. 32)

Für die hier gebildete Kennzahl werden die prozentualen Wasserverluste aus den realen Wasserverlusten berechnet. Die prozentualen Wasserverluste inklusive der Scheinverluste und Betriebswassermengen sind ebenfalls innerhalb der Wassermengenbilanz kalkuliert. Die prozentuale Auswertung der Wasserverluste eignet sich nur bedingt für eine technische Bewertung, da generell höhere Netzeinspeisungen zu einem geringeren Prozentwert führen. Ein Benchmark mit höheren spezifischen Einspeisungen würde theoretisch bei gleichen Verlusten unabhängig von der Netzlänge besser abschneiden. (DVGW W 392 (A), 12/2015, S. 4) Da in der Auswertung ebenfalls die absoluten Einspeisemengen angegeben sind, können die prozentualen Wasserverluste als Orientierung dienen.

Rohrschadensrate bezogen aufs mittlere Alter (Variante)

Diese Zusatzkennzahl ergibt sich aus den zuvor berechneten Ergebnissen des durchschnittlichen Leitungsalters und der gemittelten jährlichen Schadensrate je Kilometer Leitungslänge wie folgt:

$$\frac{\text{Schadensrate}}{\text{Mittleres Alter}} \left[\frac{\text{Schäden}}{\frac{(\text{km} * \text{a})}{\text{Jahre}}} \right]$$

Die Betrachtung der Kennzahl wird dazu genutzt, den Zusammenhang zwischen Leitungsalter und Schadensrate in den jeweiligen VB abzubilden. (SCHMIDT, 2003, S. 53) Auch wenn das Leitungsalter nicht grundsätzlich die Hauptursache für Leitungsschäden ist, wird diese Kennzahl zur Orientierung in der Systemanalyse berücksichtigt.

5.4.6 Auswertung der Kennzahlen

Die Auswertung der Kennzahlen und Strukturmerkmale erfolgt in tabellarischer Form sowie mithilfe eines sogenannten Spinnendiagramms (Netzdiagramm). Wie im Benchmarking der Wasserwirtschaft üblich, wird für die bessere Begutachtung der Minimalwert, Maximalwert und das arithmetische Mittel für jede Kennzahl aus den Ergebnissen der neun VB ermittelt.

Für die Auswertung im Spinnendiagramm wird eine Auswahl der aussagekräftigsten Kennzahlen und Strukturmerkmale bezogen auf die Bewertung des Leitungssystems dargestellt. Hierzu gehören:

- mittlere Leitungsalter in Jahren
- Prozentualer Anteil der Gesamtlänge der Werkstoffgruppe GG ohne ZM-Auskleidung
- Metermengenwert (Kubikmeter je Meter Leitungslänge im VB)
- Leitungsschäden (gemittelte Schadensrate, an Leitungen i.B.)
- Reale-Wasserverluste (Kubikmeter pro Stunde pro Kilometer Leitungslänge gemittelt)
- Reha-Rate (Prozent)

Wie in der nachfolgenden Abbildung 14 zu erkennen, besitzen die Achsen je Wertebereich und Einheit eine individuelle Skalierung, die für jede Kennzahl bzw. für jedes Strukturmerkmal festgelegt wird. Die Achsengrenzen sind nach Minimalwert und Maximalwert der Ergebnisse der VB festgelegt. Die Ergebnisdarstellung aller VB besitzt somit die gleichen Achsenbereiche, wodurch es möglich ist diese optisch miteinander zu vergleichen. Beispielsweise bewegen sich die Ergebnisse der Reha-Rate zwischen 0 (keine Reha) und 1,8 Prozent (höchste Reha-Rate in einem VB). Der Achsenbereich für diese Kennzahl wird daher zwischen 0 und 2 festgelegt, um eine geeignete Darstellung zu gewährleisten. Für die Darstellung des mittleren Alters wird beispielsweise nur der Achsenbereich zwischen 25 und 55 Jahren betrachtet, um eine bessere Differenzierung bei der optischen Auswertung zu erzielen.

In der Grafik sind Minimalwert und Maximalwert der Achse jeweils in Klammern hinter der Beschriftung angegeben. Diese sind durch Kommata getrennt (vgl. Abbildung 14).

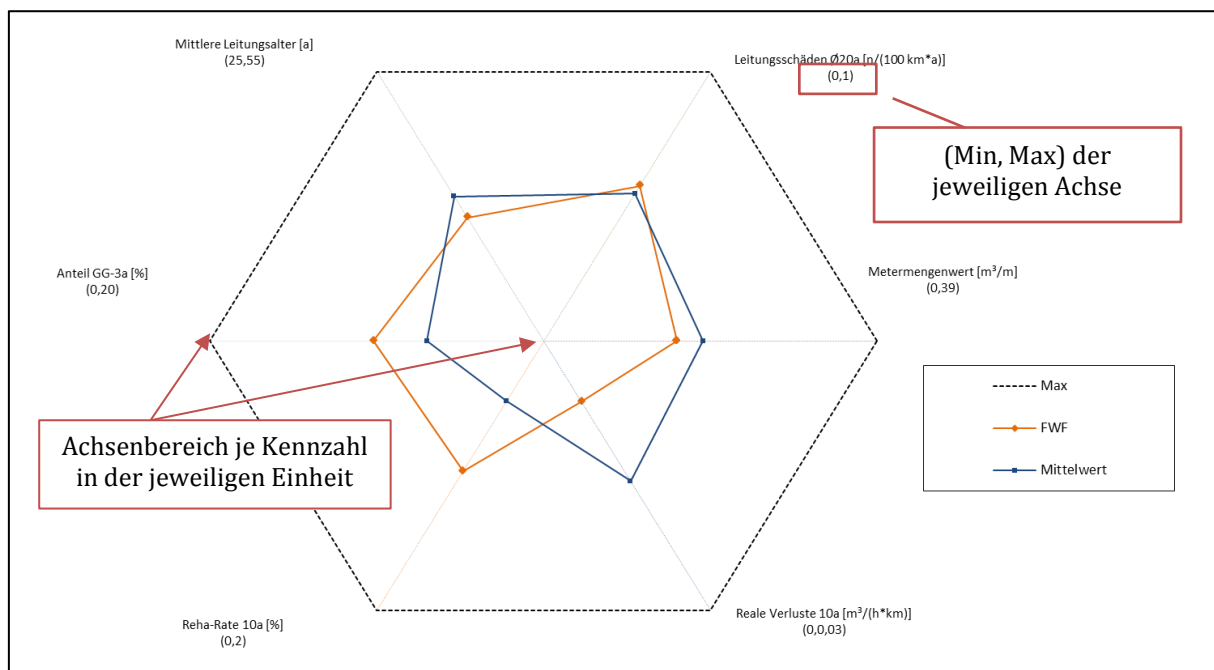


Abbildung 14: Beispiel: Auswertung Kennzahlen im Spinnendiagramm (Eigene Darstellung)

Zur Orientierung und Bewertung werden mit Hilfe der blauen Linie die Mittelwerte der Ergebnisse je VB abgebildet. Hierdurch kann der optische Abgleich mit dem Mittelwert erfolgen. Die Auswertungen erfolgen für jeden Versorgungsbereich und sind im Anhang C zu finden.

5.5 Risikoanalyse des Rohrleitungssystems

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, kann innerhalb der Rehabilitationsplanung eine Risikoanalyse zur Bewertung des Rohrleitungssystems genutzt werden. Dieser Ansatz wird hier in Anlehnung an das DVGW Merkblatt W 400-3 bzw. W 403 angewandt. Er betrachtet das Risiko eines Leitungsausfalls bzw. Leitungsschadens ausgehend vom technischen Zustand und der Umgebung der Rohrleitung. Eine Risikobetrachtung der Wasserversorgung wie sie nach W 1001 und W 1002 definiert ist wird hier nicht durchgeführt. Exogene Faktoren wie der Ausfall der Wasserversorgung aufgrund von Stromausfall, Naturkatastrophen (Extremwetterereignissen, Hangrutschungen u.a.), gezielter Manipulation (Terrorangriffe, Cyber-Attacken) oder kriegerische Auseinandersetzungen stehen hier nicht im Fokus. Ausfallszenarien oder alternative Versorgungssysteme (z.B. leitungsunabhängige Trinkwasser-Notbrunnen) werden hier nicht untersucht.

Da es hohe Priorität hat, den Betrieb mit der bestehenden Infrastruktur stets aufrechtzuerhalten, liegt der Fokus auf einer nachhaltigen, gezielten Rehabilitation des Leitungssystems. Ziel ist es durch Identifikation und Priorisierung eine gezielte Planung vorzunehmen, um vermeidbare von der Leitungssubstanz ausgehende Ausfallrisiken zu minimieren und eine Versorgung ohne Unterbrechung zu sichern.

Wie in Abbildung 15 dargestellt, ist das Grundprinzip der Risikoanalyse die Begutachtung der Eintrittswahrscheinlichkeit (Schadenseintritt) und das Ausmaß des Schadens (Schadensausmaß). (DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 18)

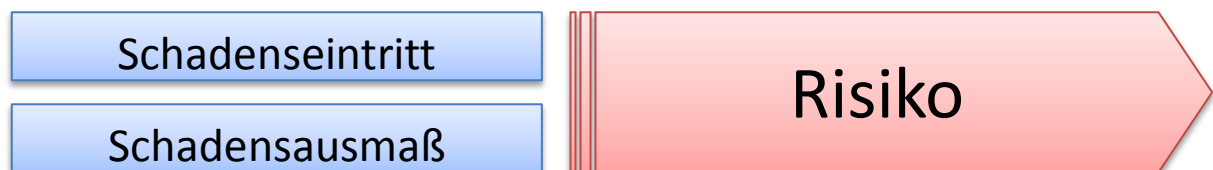


Abbildung 15: Grundprinzip Risikoanalyse (Eigene Darstellung)

Für diese zwei Bereiche gilt es Bewertungskriterien zu finden, die zum unternehmensspezifischen Datenbestand passen und jedem Leitungsabschnitt eine Bewertung liefern.

Auf der Basis von Datenauswertungen, Statistiken, Literaturwerten und Erfahrungen (vgl. u.a. Kapitel 5.5.2 und 5.5.3) wird für jedes festgelegte Kriterium ein Bewertungsansatz bzw. Bewertungsmaßstab formuliert. Für den in dieser Arbeit formulierten Ansatz werden Punkte für das Maß des Risikos vergeben, d.h. ein Punkt oder mehrere für ein potentiell Risiko bzw. für die Höhe des Risikos. Diese Punktevergabe erfolgt nach Auswertung der genannten Datengrundlagen in Kapitel 5.5.4.

Nach Definition der Bewertungspunkte werden diese auf den Rohrleitungsbestand übertragen. Abschließend werden die Punkte verrechnet (s. Kapitel 5.5.4.3), um ein Risiko einzuschätzen bzw. Risikoklassen zu erhalten.

Die Bewertung des Rohrleitungssystems basiert auf dem FWF-GIS-Datenbestand. Nach erfolgreicher Kriterienauswahl, erfolgen die Punkteübertragung auf die Leitungsabschnitte und die Berechnungen mit Hilfe eines Geoinformationssystems. Die Gliederung und Einordnung des Rohrleitungssystems sowie die Betrachtung der Schadensstatistik als Grundlage für die Bewertungskriterien werden in den nachfolgenden Kapiteln behandelt.

5.5.1 Auswahl von Kriterien

Die Auswahl der Bewertungskriterien folgt der Systematik der Netzbewertung bzw. dem Risikoprinzip nach Schadenseintrittswahrscheinlichkeit und dem Ausmaß des Schadens.

Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Eintrittswahrscheinlichkeit von Schäden hängt von verschiedenen Ursachen ab und wird beeinflusst von den Eigenschaften, Örtlichkeit oder Umgebung der Rohrleitung.

Zu den Schadensursachen gehören beispielsweise Bodenbewegung, Materialfehler oder schadhafte Materialteile, aggressiver Boden, Loch-, Flächen-, Innen- oder Außenkorrosion, Frost, Bettungsfehler, Alterung oder Fremdeinwirkung. (DVGW W 402 (A), 09/2010, S. 25) Zur Ableitung der Eintrittswahrscheinlichkeit können die Schadensentwicklung von Leitungsabschnitten, Anlagengruppen sowie die allgemeinen Bestands-, Zustands- und Umgebungsdaten beurteilt werden. Sie sind beispielsweise im DVGW Arbeitsblatt W 402 definiert.

In der nachfolgenden Abbildung 16 sind die Zusammenhänge zwischen Schadensursache, dem Wirkungsmechanismus und der daraus resultierenden Schadensart für verschiedene Szenarien dargestellt. Hieraus lässt sich bereits ableiten, welche Kriterien bei der Bewertung des technischen Leitungszustands relevant sein können.

| Schadensursache ²⁸ | Schadensmechanismus | Schadensart |
|---|--|--|
| Bodenbewegung | | |
| Verkehr | Spannungen durch äußere Belastung | Bruch (Quer-/Rundbruch) Riss (Querriss) |
| Bettungsfehler | | |
| Verwurzelung/Bewuchs | | |
| Frost | | |
| Druckschwankungen | Spannungen durch innere Belastung | Bruch (Schalenbruch) Riss (Längsriss) |
| Druckstoß | | |
| Bettungsfehler | Spannungen durch äußere Belastung | Perforierung bei PE (ggf. auch bei PVC) |
| schadhafte Isolierung | Lochkorrosion Flächenkorrosion Innen-/Außenkorrosion Graphitierung Carbonatisierung ²⁹ | Perforierung bei metallenen Leitungen und FZ in Verbindung mit Spannungen durch äußere oder innere Belastung = Bruch oder Riss bei metallenen Leitungen und FZ (ggf. auch bei Spb) |
| unpassende Wassergüteparameter | | |
| aggressiver Boden | | |
| | | |
| | wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion | Bruch (Riss) bei Spb |
| Materialfehler ³⁰ | Spannungen durch äußere/innere Belastung ³¹ | Bruch bei GGL |
| | Lochkorrosion ³² | Perforierung bei St und GGG |
| "Alterung" | Versprödung | Riss bei PE (und PVC) |
| Einwirkung durch Fremde (Fremdbaustellen) | Diese Angaben geben keine Auskunft über ein prognostizierbares Ausfall- und Alterungsverhalten da zufallsbedingt | |
| Einwirkung durch fremde Anlagen | | |
| Einwirkung durch eigene Anlagen | | |

Kursiv = keine genannte Schadensursache in DVGW W 402

Abbildung 16: Plausibilitätsmatrix Schadensursache und -art (SORGE ET AL., 2012, S. 127)

Bestands- und Zustandsdaten von Rohrleitungen geben Auskunft über die Lage, die Art, den Werkstoff, die Herstellung, das Verlegejahr bzw. Alter, den Durchmesser, die Art des

Korrosionsschutzes, die Art der Bettung, Überbauung der Rohrleitung u.a.. Umgebungsdaten geben Auskunft zum Bebauungsabstand, zur Bodenart, Hanglage zu Bodenbewegung oder Schutzstreifen. (DVGW W 402 (A), 09/2010, S. 10–13)

Zwischen einigen bekannten Schadensursachen kann sich eine direkte oder indirekte Verknüpfung zu den Eigenschaften von Rohrleitungen ergeben und daraus die Eintrittswahrscheinlichkeit abgeleitet werden. Zum Beispiel ist die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit bei einer alten metallischen Rohrleitung ohne passiven oder aktiven Korrosionsschutz und ohne Bettung in einem sauren Boden relativ hoch.

Diese Wirkungszusammenhänge sollen genutzt werden, um Bewertungskriterien zu bestimmen. Die Auswahl der Kriterien für die hier beschriebene Risikoanalyse richtet sich, wie schon bei der Auswahl der Kennzahl, nach der Zieldefinition und der Datenverfügbarkeit im FWF-Datenbestand. Während der Datenbestand bezüglich der Bestandsdaten eine sehr gute Qualität und Konsistenz aufweist, sind Informationen zur Umgebung wie Bodenbeschaffenheit oder Hanglage aktuell nicht in geeigneter Datenqualität vorhanden. Des Weiteren gilt es die Besonderheiten in der Fernwasserversorgung zu beachten. Im Vergleich zu Leitungsnetzen mit Direktabnehmern liegen die FWF-Leitungen hauptsächlich in nicht bebauten Gebieten und haben grundsätzlich einen größeren Leitungsdurchmesser. Der Abstand zur Bebauung bzw. der Beeinflussung der Bebauung auf die Leitung spielt daher eine untergeordnete Rolle.

Für die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit werden daher Kriterien anhand der folgenden Eigenschaften festgelegt:

- Material/ Werkstoff der Rohrleitung
- Korrosionsschutz bzw. Rohrumhüllung
- Verlegejahr bzw. Leitungsalter (Schadensstatistik, technische Lebensdauer)
- Schadensrate

Zur Herleitung dieser ausgewählten Kriterien und zur Festlegung des Bewertungsansatzes ist es zunächst notwendig, eine Auswertung des Leitungsbestandes sowie der Schadensstatistik durchzuführen. Hieraus werden Werkstoffgruppen definiert und bewertet. Die Schadensstatistik ist ebenfalls Grundlage für die Festlegung des Bewertungsmaßstabes von Alter der Leitungen sowie Schadenrate der Bauabschnitte. Die eingehende Betrachtung des FWF Leitungsbestandes, der Rohrwerkstoffe sowie die Auswertung der Schadensstatistik sind daher die ersten Schritte zur Definition von Kriterien der Eintrittswahrscheinlichkeit.

Fremdeinwirkungen können lediglich über eine Wahrscheinlichkeitsrechnung prognostiziert werden und sind nicht Gegenstand dieser Risikoermittlung. Dieser Art von Gefährdung ist generell mit präventiven Maßnahmen zu begegnen. Hierzu zählen wiederum eine gute Instandhaltung, eine ggf. redundante Versorgungsmöglichkeit sowie für den Ausfall im Normalbetrieb oder Krisenfall geregelte Betriebsabläufe und geschultes Personal.

Schadensausmaß

Das Ausmaß des Schadens ist i.d.R. verknüpft mit einem Rohrbruch, also einer Versorgungsunterbrechung der betroffenen Leitung und einem mehr oder weniger großen Wasseraustritt. Das Ausmaß kann allgemein hinsichtlich der Kosten, der Versorgungsqualität, der Auswirkung auf Dritte bzw. der Gefährdung von Personen und Gebäuden sowie des öffentlichen Ansehens des Unternehmens bewertet werden. Bei der Versorgungsqualität sind die Aspekte Verfügbarkeit, Menge, Druck und Wasserqualität entscheidend. Bei der Betrachtung

der Gefährdung von Personen und Gebäuden sind Aspekte wie Leitungstyp, Lage, Abstand zu Bauwerken und Verkehrswegen sowie die Dimension der Leitung relevant. (DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 18)

Es ist davon auszugehen, dass es sich in der Fernwasserversorgung überwiegend um „Leitungen mit besonderer versorgungstechnischer Bedeutung“ (DVGW W 400-3, 09/2006, S. 33) handelt, bei deren Ausfall, bezüglich der Versorgungsqualität und Kosten, mit einem erhöhten Schadensausmaß zu rechnen ist. Zur besseren Abstufung und Bewertung ist es sinnvoll, die Höhe der abgegebenen Wassermenge und die damit verbundene Anzahl der betroffenen Bevölkerung zu betrachten.

FWVU haben zusätzlich eine besonders große Verantwortung gegenüber der Versorgungssicherheit, weshalb neben dem Normalbetriebe häufig eine weitere Versorgungsmöglichkeit bereitgestellt wird. Diese Ersatzversorgung ist i.d.R. über sogenannte redundante Versorgungsleitungen oder Verbundleitungen zwischen zwei VB gesichert. Eine weitere Überbrückung einer Versorgungsunterbrechung erfolgt über das Puffervermögen von HB, WT oder anderen Speicherbehältern. Das Ausmaß eines Leitungsschadens steigt somit wenn Leitungen betroffen sind die eine solche Struktur nicht aufweisen, also keine Redundanz besitzen. Das Schadensausmaß kann ebenso höher ausfallen wenn eine Leitung betroffen ist, die besonders relevant ist für die Versorgung - beispielsweise eine Verbundleitung.

Zur Klassifizierung des Schadensausmaßes werden in dieser Arbeit daher die nachfolgenden Kriterien festgelegt:

- Anzahl und Größe der Abnehmer
- Ersatzversorgung/ Redundante Leitung / n-1-Prinzip
- Verbundleitung
- Leitungsdurchmesser
- Abstand zu Bauwerken

Die genaue Beschreibung der Kriterien und des Bewertungsmaßstabes erfolgt in Kapitel 5.5.4. Zur genauen Definition und Einordnung der Leitungseigenschaften dienen die nachfolgenden Kapitel.

5.5.2 Gliederung des Rohrleitungssystems

Die Betrachtung des Rohrleitungssystems bedarf zunächst einer Definition und Eingliederung der Leitungen, einer statistischen Auswertung des Rohrleitungsbestands sowie einer Auswertung der Schadensdaten. Die Datenauswertung zeigt u.a. die historische Entwicklung, den aktuellen Stand und dient gleichzeitig als Grundlage für weitere Bewertungs- und Berechnungsschritte in der Risikobewertung.

5.5.2.1 Definition von Leitungen im Wasserverteilungssystem

Der nachfolgende Abschnitt dient zur Abgrenzung, welcher Bereich im Wasserverteilungssystem auf die Fernwasserversorgung Franken zutrifft und welche Abschnitte in der Risikoanalyse untersucht werden sollen.

Das allgemeine Wasserverteilungssystem sowie die Rohrleitungen lassen sich nach DIN 805 und DVGW W 400-1 anhand ihrer Größe und Funktionalität in verschiedene Klassen gliedern. Abbildung 17 zeigt den schematischen Aufbau eines Wasserverteilungssystems und die Verteilungsmöglichkeiten von der Wasseraufbereitung über die verschiedenen Leitungen und Behälter bis ins Verteilungsnetz und zum Endverbraucher. Es kann bezüglich der erdverlegten

Leitungen, wie in Abbildung 17 zu sehen, hinsichtlich ihrer Aufgaben zwischen Fernleitung bzw. Verbundleitung, Zubringerleitung, Hauptleitung, Versorgungsleitung und Anschlussleitung unterschieden werden. In diesem Schema nicht berücksichtigt, jedoch ebenfalls Bestandteil, sind Rohwasserleitungen oder Brunnenleitungen, die das Wasser von der Gewinnungsanlage zur Wasseraufbereitung transportieren.

Die Leitungen lassen sich weiter wie folgt definieren:

- **Zubringerleitungen:** Verbinden Anlagen der Wassergewinnung, Aufbereitung, Wasserbehälter sowie Versorgungsgebiete (ohne direkte Verbindungen zum Verbraucher).
- **Fernleitungen:** Entsprechen Zubringerleitungen mit größeren Distanzen, überschreiten i.d.R. Gemeindegrenzen.
- **Hauptleitungen:** Hauptverteilungsfunktion innerhalb großer Versorgungsgebiete (Großstädten), i.d.R. ohne direkte Verbindung zum Verbraucher.
- **Versorgungsleitungen:** Verteilungsfunktion im Versorgungsgebiet.
- **Anschlussleitungen:** Beginnen an der Abzweigstelle der Versorgungsleitung und enden mit der Hauptabsperreinrichtung des Verbrauchers (i.d.R. im Anschlussraum des Gebäudes). (MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 589)

Die FWF als Fernwasserversorger liefert das Wasser im Normalfall bis an die sogenannten Abgabestellen (AGS), zu erkennen in Abbildung 17 als Nr. 11 „Übergabestelle“. Ab der AGS geht das Wasser in die Leitungen bzw. Netze der Kunden über, welche i.d.R. Eigentum der Abnehmer bzw. Gemeinden sind und somit nicht zum Zuständigkeitsbereich der FWF zählen. Aufgrund der höheren Dichte, Anzahl an Abzweigungen und Verbindungen von Versorgungs- und Anschlussleitungen wird bei Städten und Gemeinden von Leitungsnetzen bzw. Ortsnetzen gesprochen. Die überregionalen Leitungen von FWVU werden hingegen häufig als Leitungssystem bezeichnet. (SORGE ET AL., 2012)

Je nach Örtlichkeit der AGS befindet sich die Zubringerleitung (von der Fernleitung zum Versorgungsgebiet) im Eigentum der FWF oder bereits des Abnehmers. Aufgrund dieser Abgabestruktur sind im Leitungsbestand der FWF vorwiegend Fernleitungen und keine Leitungen des Typs Haupt-, Versorgungs- oder Anschlussleitung zu finden.

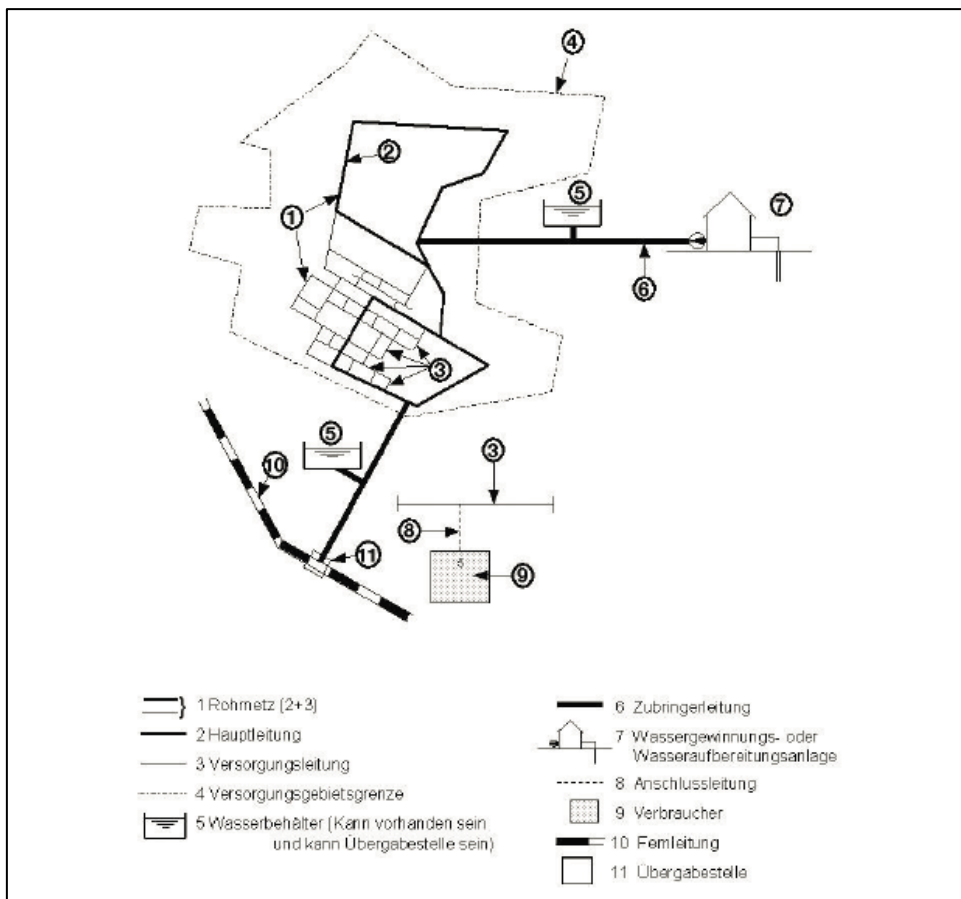


Abbildung 17: Beispiel Wasserverteilungssystem (DVGW W 400-1 (A), 02/2015, S. 19)

Im Verteilungssystem der FWF kann daher nach den offiziellen Definitionen zwischen den Leitungstypen Zubringerleitung bzw. Fernleitung und Verbundleitung unterschieden werden. Diese Leitungstypen, die dem Fernwassertransport dienen, sollen hier im Fokus stehen.

Je nach Bedeutung für die FWF gibt es weitere interne Bezeichnungen, mit denen sich die Leitungen unterscheiden lassen. Das von der WFW eingespeiste Wasser für Sulzfeld wird beispielsweise über die sogenannte „Beileitung“ vom HB Hüttendorf über den HB Brandhof zum Wasserwerk Sulzfeld transportiert. Hierbei handelt es sich per definitionem ebenfalls um eine Fernleitung, allerdings mit einer für die Versorgungssicherheit strategisch speziellen Aufgabe. Leitungen für den Bezug von benachbarten FWVU oder den Transport zwischen zwei VB innerhalb des Verbandsgebiets sind in der FWF als Verbundleitungen definiert.

Im GIS-Datenbestand der FWF sind ebenfalls andere Leitungstypen zu finden. Hierzu gehören nicht-erdverlegte Leitungen, d.h. Stahl oder V2A Installationsleitungen in Gewinnungs-, Aufbereitungs- und Schachtbauwerken. Diese Leitungsabschnitte und Armaturen sind frei zugänglich und werden bei den regelmäßigen Inspektionen, Wartungen und während des laufenden Betriebs auf ihre Beschaffenheit, Dichtheit und Funktionalität geprüft. Aus diesem Grund spielen sie für die Risikobewertung eine untergeordnete Rolle und werden hier nicht detaillierter betrachtet.

Weitere Leitungstypen im FWF-Datenbestand sind Fremdleitungen, stillgelegte Leitungen, Grundablassleitungen (dienen u.a. dem Überlauf von Wasserbehältern), Spülleitungen (werden bei Leitungsspülungen verwendet), Brunnenleitungen und weitere, die nicht Gegenstand dieser Untersuchung sind.

Die in der Bewertung berücksichtigten Leitungsabschnitte werden daher nach folgenden Kriterien aus dem Gesamtdatenbestand ausgewählt bzw. gefiltert:

| Filterkriterium | Auswahl | Filterfunktion u.a. |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------|
| Objektklasse | FWA Leitungsabschnitt | Auswahl FWF-Leitungen |
| Medium | Trinkwasser | Keine Spül- oder Ablassleitung |
| Status | in Betrieb | Keine stillgelegten Leitungen |
| Geometrie-Ebene | Bestand | Keine Installationsleitungen |

Aufbau Datenbestand der FWF-Leitungen

Für das weitere Verständnis und für die Datenbearbeitung ebenfalls von Bedeutung ist der Aufbau und die Struktur des FWF Datenbestandes der Leitungen im GIS. Über die sogenannte Leitungsnummer (z.B. L012) lassen sich die Leitungen der räumlichen Gliederung von Versorgungsbereich und -zone zuordnen.

Aufgrund der Bauhistorie besitzen die Leitungen eine Bezeichnung des zugehörigen **Bauabschnitts** (BA) bzw. **Bauloses**. Bauabschnitte sind in den allermeisten Fällen als sinnvoll geplante und gebaute Leitungsabschnitte definiert. Die älteren BA haben i.d.R. Bezeichnungen, die mit römischen Zahlen und Buchstaben versehen sind (z.B. XI/B-115). Die neueren BA sind gekennzeichnet mit einer fortlaufende Nummer mit dem Kürzel BA (z.B. BA 140). Hierüber können die Leitungen einzelnen Bauprojekten, Archivordner oder anderen Informationen zugeordnet werden.

Im GIS-Datenbestand kann ein BA, wie in Abbildung 18 dargestellt, aus einem oder mehreren **Leitungsabschnitten** bestehen.

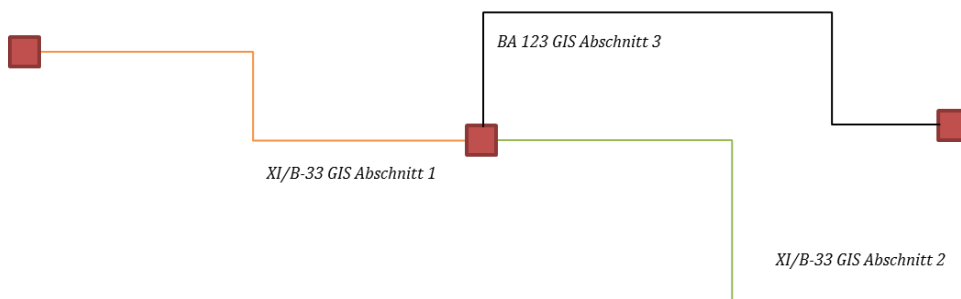


Abbildung 18: Schema GIS-Datenbestand (Eigene Darstellung)

Leitungsabschnitte sind kleine Abschnitte mit gleichen Leitungseigenschaften. Hierzu gehören Abschnitte zwischen zwei Schächten, Abschnitte bei Querschnitts- oder Materialwechsel sowie kürzere Abschnitte aufgrund von Umlegungen oder Rohrbrüchen. Jeder Abschnitt besitzt die allgemeinen Informationen zu den Bestandsdaten und ist über eine eigene ID eindeutig zu identifizieren.

5.5.2.2 Rohrleitungswerkstoffe und deren Entwicklung

Für die statistische Auswertung und die spätere Risikobetrachtung des Rohrleitungssystems gilt es zunächst, die Leitungen nach einheitlichen Kriterien zu gruppieren und zu bewerten. Die Gruppierung der Leitungen kann u.a. nach Rohrleitungsmaterial bzw. -werkstoff sowie in einer weiteren Untergruppierung anhand ihrer Merkmale (Alter, Herstellungsart) in sogenannte „Generationen“ erfolgen. (DVGW W 402 (A), 09/2010, S. 15)

Bei den Rohrleitungen in der Wasserversorgung wurden im Laufe der Zeit unterschiedliche Werkstoffe, Verarbeitungs- und Verlege Techniken verwendet. Angefangen von Viadukten im alten Rom über Holzrohrleitungen im Mittelalter bis hin zu Gussrohren und PE-Rohren heute, wurde stets das Ziel verfolgt technische und qualitative Verbesserungen zu entwickeln (ROSCHER ET AL., 2015) Bei der Betrachtung der heute eingesetzten bzw. in Betrieb befindlichen Anlagenteile kann bereits innerhalb einer Werkstoffart zwischen verschiedenen Generationen unterschieden werden. Zum besseren Verständnis und zur späteren Definition der Werkstoffgruppen wird im nachfolgenden Abschnitt auf die Rohrleitungswerkstoffe und deren Entwicklung eingegangen. Der Fokus liegt auf den Werkstoffen die überwiegend im Leitungsbestand der FWF vorkommen.

Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt eine Übersicht über die Rohrwerkstoffe und deren gängige Kurzbezeichnungen für erdverlegte Leitungen in Wasserverteilungssystemen der BRD.

Tabelle 10: Bezeichnung der Rohrmaterialien (Eigene Darstellung nach MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 589; DIN EN 1560, 05/2011)

| Kurzbezeichnung | Bezeichnung |
|-----------------|---|
| AZ, FZ | Asbestzement, Faserzement |
| GG (GJL) | Grauguss (Gusseisen lamellenförmiger Grafit) |
| GGG (GJS) | Duktiles Gusseisen (Gusseisen sphärolithisch, kugelförmiger Grafit) |
| GGG ZM | Duktiles Gusseisen mit Zementmörtelauskleidung |
| GGG ZMU | Duktiles Gusseisen mit Zementmörtelumhüllung |
| PE-LD | Polyethylen weich |
| PE (X) | Polyethylen |
| PVC/ PVC-U | Polyvinylchlorid (hart) |
| SpB | Spannbeton |
| StBiA | Stahl mit Außenschutz aus Bitumen |
| StBiI | Stahl mit Innenschutz aus Bitumen |
| StZm | Stahl mit Innenschutz durch Zementmörtelauskleidung |
| UP-GF | Glasfaserverstärktes Polyesterharz |

Je nach Anforderung der Leitung, Einsatzort, Verfügbarkeit und Leitungsdurchmesser kommen bzw. kamen die verschiedenen Leitungstypen in verschiedenen Versorgungsstrukturen zum Einsatz. In der Fernwasserversorgung kommen aufgrund der größeren Rohrdurchmesser hauptsächlich Guss-, Stahl-, AZ und gelegentlich PCV-Leitungen in ihren unterschiedlichen Ausführungen zum Einsatz. Im Folgenden werden diese Rohrleitungswerkstoffe näher beschrieben.

Gussrohrleitungen

Der Name Gusseisen leitet sich von der Herstellungsform des Gießens ab. Nach der Eisenschmelze und dem darauffolgenden Abkühlen erhält es seine Form. Gusseisen unterscheidet sich im allgemeinen von Stahl oder Stahlguss durch seinen Kohlenstoffgehalt im Eisen. Der Kohlenstoff beeinflusst maßgeblich die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes. Ab einem Gehalt von mehr als zwei Prozent wird von Gusseisen gesprochen. Dieser höhere Anteil erschwert die Formbarkeit des erstarrten Eisenwerkstoffes, welcher im Normalfall daher nicht mehr geschmiedet bzw. kalt geformt wird. (HILBRANS, 2008, S. 250)

Beim Erstarren bzw. Abkühlen der Eisenschmelze bilden sich in der Eisenmatrix eingelagerte Grafitbereiche. Welche Struktur diese Grafitbereiche annehmen ist abhängig vom Gehalt der

Begleitelemente Kohlenstoff, Silicium und Magnesium. Der Grauguss lässt sich nach Form der Grafitbereiche weiter unterteilen in: (HILBRANS, 2008, 251, 256)

- Gusseisen mit Lamellengrafit (lamellenförmig ausgebildeter Grafit) GG bzw. GJL
- Gusseisen mit Kugelgraphit (globulitisch vorliegender Grafit) GGG bzw. GJS
- Gusseisen mit Vermiculargrafit („würmchenförmig“ vorliegender Grafit) GJV.

Nach DIN EN 1560 lauten die offiziellen Bezeichnungen GJS (G=Guss, J=Eisen, S=Sphärisch (kugelförmig)) für Gusseisen mit globularem Grafit bzw. GJL für Gusseisen mit Lamellengrafit. In der Praxis, wie auch in dieser Arbeit, werden jedoch weiterhin die Kürzel GGG bzw. GG verwendet.

Bereits im Mittelalter vor mehr als 500 Jahren wurden Gussrohre mancherorts zum Wassertransport genutzt, z.B. auf dem Schloss Dillenburg. (GRAS ET AL., 1983, S. 15) Der Einsatz und die Verbreitung von Gussrohren für größere, zusammenhängende Wasserverteilungsnetze in Städten ist ab Mitte des 19. Jhd. zu beobachten. Die Herstellungsmethoden haben sich im Laufe der Zeit immer weiterentwickelt. Bis zum Jahr 1885 wurden die Gussleitungen liegend gegossen. Nachfolgend wurden sie stehend und anschließend in sogenannten Gießkarussellmaschinen angefertigt. Während der Abkühlung waren die Rohre mit sogenanntem Gießsand in Kontakt, wodurch sie herstellungsbedingt mit dem Sand eine Art Korrosionsschutz erhielten. Ab dem Jahr 1926 kam das sogenannte Schleudergussverfahren zur Herstellung der Gussleitungen zum Einsatz, wodurch die Rohre eine gleichmäßigere Form und Wandstärke sowie eine erhöhte Festigkeit (Mindestzugfestigkeit 200 n/mm^2) erhielten. Anstelle des Gießsand es wurden wassergekühlte, rotierende Dauerformen verwendet. Dies führte allerdings dazu, dass aufgrund des fehlenden Gießsand es an den Außenseiten der Rohre ein geringerer Korrosionsschutz bestand. (ROSCHER ET AL., 2015)

Ab dem Jahr 1951 bzw. in Deutschland ab 1956 wurde für die Herstellung von Rohrleitungen „duktils Gusseisen“ bzw. Gusseisen mit Kugelgraphit eingesetzt. (GRAS ET AL., 1983, S. 23) Die erste Ausgabe des Gussrohr-Handbuchs 1963 befasste sich noch vorwiegend mit Grauguss und die tatsächliche breite Anwendung in der Praxis etablierte sich erst ca. 1966 (SORGE ET AL., 2012).

Duktils Gusseisen lässt sich im Vergleich zum herkömmlichen Grauguss besser verformen bzw. besitzt es eine höhere Dehnungsfähigkeit. Hier wird der Begriff mit seiner Bedeutung des Wortes „duktil“ nachvollziehbar (dehnbar, verformbar) (SAINT-GOBAIN, 2007, S. 11). Diese Eigenart des Materials ermöglicht eine Mindestbruchdehnung von 10 Prozent, d.h. die Rohrleitung kann sich unter Belastung plastisch verformen bevor es zu einem Materialbruch kommt. (GRAS ET AL., 1983, S. 23) Abbildung 19 zeigt das Prinzip einer Längsbiegung (links) und Ovalisierung (rechts) von duktilen Gussleitungen bei Belastungen bei sich ändernden Erdlasten. Die einwirkende Kraft wird hierbei in eine Verformung überführt. (SAINT-GOBAIN, 2007, S. 11) Des Weiteren besitzen Duktilgussrohre eine größere Zugfestigkeit von mindestens 420 n/mm^2 . Durch diese Eigenschaften können GGG-Leitungen hohen Innendruck sowie Erd- und Verkehrslasten mit daraus resultierendem Scheiteldruck und Biegebeanspruchungen standhalten. (GRAS ET AL., 1983, S. 23)

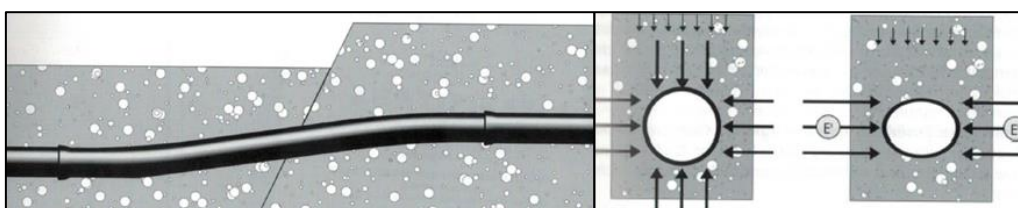


Abbildung 19: Längsbiegung duktiler Gussrohre (SAINT-GOBAIN, 2007, S. 11)

Stahlleitungen

Stahlleitungen lassen sich ebenfalls in die Kategorie der metallischen Leitungsarten einordnen. Im Vergleich zum Gusseisen hat Stahl oder auch Stahlguss genannt einen geringeren Kohlenstoffanteil von weniger als zwei Prozent. Der Stahlwerkstoff ist generell härter als Gusseisen und besitzt eine höhere Zugfestigkeit mit bis zu 700 N/mm^2 , unlegierter Stahl, legierte Stahlsorten sogar bis zu 1.300 N/mm^2 . Zudem besitzt Stahl eine höhere Verformbarkeit und lässt sich warm- und kalt umformen. (HILBRANS, 2008, S. 251)

Im Rohrleitungsbau wird der Stahl bereits seit ca. 1875 eingesetzt und zählt bis heute v.a. bei größeren Querschnitten zu den gefragten Leitungstypen. Wie beim Gusseisen gab es im Laufe der Zeit in der Herstellung sowie beim Korrosionsschutz viele Entwicklungen, die zu Unterschieden in der Qualität und Lebensdauer führten. Zu Beginn der Herstellung bis 1900 wurden die Rohre beispielsweise mit einer Längsnaht geschweißt. Ab 1900 folgte dann eine nahtlose Rohrherstellung, die bis ca. 1930 jedoch einen unzureichenden Korrosionsschutz aufwies. Im Produktions- und Verlegezeitraum von 1930 bis ca. 1979 kam ein verstärkter Korrosionsschutz (Bitumen- oder Teerbeschichtung sowie Jute oder Glasfliesamierung) zum Einsatz, wodurch die Leitungen allerdings nach wie vor korrosionsanfällig blieben. Des Weiteren konnte in Studien festgestellt werden, dass die Rohrleitungsproduktion in der Nachkriegszeit eine vergleichsweise schlechtere Werkstoffqualität aufwies. Erst mit der Einführung eines „angemessenen“ Korrosionsschutzes mit Zementmörtelauskleidung, Kunststoffbeschichtung und weiterer Ummantelungen ab ca. 1980 wurde ein erhöhter Korrosionsschutz erreicht. (SORGE ET AL., 2012, S. 85)

In der Fernwasserversorgung gehören Stahlleitungen heute neben Guss- und AZ-Leitungen zu den am häufigsten verwendeten Werkstoffarten. In einigen Verteilungssystemen sind sie als der vorwiegende Materialtyp anzutreffen. (vgl. AQUABENCH, 2015, S. 3)

Aufgrund der historischen Entwicklung im Leitungsbau gibt es in der FWF nur eine sehr geringe Anzahl an Stahl-Leitungsabschnitten. Die Wahl des Werkstoffs hängt häufig ab von den örtlichen Gegebenheiten und/oder von individuellen Entscheidungen innerhalb des Unternehmens. Aufgrund der geringfügigen Bedeutung für die FWF wird an dieser Stelle auf eine weitere ausführlichere Beschreibung verzichtet.

Asbestzement Leitungen

Asbestzementleitungen oder kurz AZ-Leitungen fallen unter die Kategorie der Faserzementleitungen (FZ-Leitungen) und sind auch unter dem Herstellernamen Eternit bekannt.

Unter Faserzement ist allgemein eine Mischung aus Zement und bestimmten feinen Fasern zu verstehen, welche die Materialeigenschaften bezüglich der Festigkeit verbessern, ähnlich wie bei der Bewehrung im Spannbeton. Asbest-Fasern sind ein in feinsten Fasern, im Größenbereich von 10^{-4} Millimetern, kristallisiertes Mineral magmatischen Ursprungs. Aufgrund der einfachen Verarbeitung und vieler positiver Eigenschaften wie hohe chemische Beständigkeit, Unempfindlichkeit gegenüber Bakterien und Pilzen, Feuerfestigkeit und einer hohen Zugfestigkeit etablierte sich der Asbestzement Anfang des 20. Jahrhunderts. Er wurde zur Herstellung vieler Produkte v.a. in der Baubranche eingesetzt. (Eternit, 1974, S. 9)

Nach einem patentierten Verfahren des Italieners Mazza aus dem Jahr 1913 begann ab den 1930er Jahren die Herstellung von AZ-Druckrohren in Deutschland. (Eternit, 1974, S. 9; ROSCHER ET AL., 2015, S. 69) Nach der erfolgreichen Ära der AZ-Leitungen, vor allem in den 50er bis 70er

Jahren, ist eine Neuverlegung von AZ-Leitungen nach der Novellierung der Gefahrenstoffverordnung (GefStoffV) 1993 aus gesundheitlichen Gründen seit dem 01. 01. 1995 nicht mehr erlaubt. (LfU, 2010) Das Ende der Herstellung und Verlegung war bereits ab ca. 1990. (SORGE ET AL., 2012, S. 62) Die Kehrseite der vielseitigen und positiven Eigenschaften des Materials ist die hohe gesundheitliche Gefährdung, die vom Asbestzement ausgeht. Durch die Freisetzung von Asbest-Fasern an der Luft können diese bei Inhalation zu Lungenkrebs führen. Eine orale Aufnahme über Magen und Darmtrakt wird hingegen als unkritisch angesehen. (LfU, 2010) Bestehende Leitungen können daher weiter genutzt werden und es besteht kein generelles Sanierungsgebot. Für Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten sowie Entsorgung von AZ-Leitungen gelten allerdings gesonderte Bestimmungen und Arbeitsvorschriften u.a. nach dem DVGW Hinweis W 396 sowie der GefStoffV. (DVGW W 396 (M), 02/2011, S. 6)

Im Gegensatz zu den Guss- oder Stahlleitungen wurden die AZ-Leitungen mehr oder weniger nach der gleichen Methode und mit dem gleichen Grundmaterial hergestellt. Eine Unterteilung in unterschiedliche Generationen nach Herstellungszeiträumen oder nach unterschiedlichen Herstellern kann aufgrund fehlender Untersuchungen derzeit nicht vorgenommen werden. (SORGE ET AL., 2012, S. 62)

Asbestzement ist ein vergleichsweise spröder Werkstoff und ist im Leitungsbau gegenüber Querbrüchen häufig gefährdet. (SORGE ET AL., 2012, S. 62)

Die angegebenen Materialkennwerte zur Festigkeit liegen laut Hersteller über den von der DIN 19 800 geforderten Mindestwerten und werden wie folgt angegeben:

- Ringzugfestigkeit: 32,0 N/mm² (Innendruck)
- Ringbiegezugfestigkeit: 63,5 N/mm² (Scheiteldruck)
- Längsbiegezugfestigkeit: 32,5 N/mm² (Längsbiegung)

Zudem wird vermerkt, dass mit zunehmenden Alter durch eine Art Nachhärtung des Materials die Festigkeit in den ersten Jahren steigt statt nachlässt. (Eternit, 1974, S. 14)

Der Rohrschutz gegen chemische und physikalische Einwirkungen wird durch Schutzanstriche und Beschichtungen sowie durch den Werkstoff selbst sichergestellt. Durch den Herstellungsprozess sind die AZ-Leitungen zudem mit einer sehr glatten Innenfläche ausgestattet. In Zusammenhang mit den Materialeigenschaften, der damit verbundenen Reaktionsträgheit mit chemischen, physikalischen, elektrischen und biologischen Prozessen sowie der glatten Innenfläche wird von einer nahezu ausbleibenden Inkrustation ausgegangen. (Eternit, 1974, S. 16)

Allgemein wurden AZ-Druckleitungen in den Nennweiten von 50 – 2.000 Millimetern hergestellt und kamen somit in verschiedenen Anwendungsgebieten und in der Fernwasserversorgung zum Einsatz.

PVC-Leitungen

PVC-Leitungen (Polyvinylchlorid) gehören der Werkstoffgruppe der Kunststoffe an und werden bereits seit ca. 1935 in der Trinkwasserversorgung verwendet. Polyvinylchlorid ist ein amorpher, thermoplastischer Kunststoff und kommt bei einer Vielzahl von Produkten zum Einsatz. Das Material ist hart, spröde und wird erst durch die Zugabe von sogenannten Weichmachern und Stabilisatoren weich, verformbar bzw. technisch anwendbar. Bei der Herstellung von Rohren und Formstücken wird das sogenannte PVC-U (Polyvinylchlorid – unplasticized) d.h. PVC ohne Weichmacher verwendet. (KRV, 2016) Als Stabilisatoren kamen in

der Vergangenheit überwiegend Bleiverbindungen zum Einsatz, die jedoch in dieser Verbindung nicht bioverfügbar und daher gesundheitlich unbedenklich sind. (TROISDORF, 2005, S. 4)

Generell können PVC-Rohre nach ihrer Festigkeit, Verbindungsart oder nach ihrem Hersteller eingeteilt werden. Die Festigkeit wird beispielsweise anhand der Bezeichnung Hart-PVC bzw. PVC-U oder Weich-PVC (PVC-P) unterschieden. (SORGE ET AL., 2012, S. 82)

Anders als bei den metallischen Leitungstypen existieren bisher noch keine Studien, ob Herstellungsverfahren oder -zeiträume Einfluss auf die Qualität bzw. das Ausfallverhalten von PVC-Leitungen haben. (SORGE ET AL., 2012, S. 82) Eine offizielle Generationsunterscheidung kann daher nicht getroffen werden.

Aufgrund der Materialeigenschaften sind PVC-Leitungen korrosionsbeständig, nicht anfällig für Inkrustation, haben ein geringes Gewicht und eine vorausgesagte Nutzungsdauer von 50 - 100 Jahren. (TROISDORF, 2005)

Typische Schäden bzw. Schwachstellen sind Perforierungen ausgehend von punktförmigen Belastungen, Bettungsfehlern oder undichte Verbindungen. Besonders empfindlich sind PVC-Leitungen gegenüber punktförmigen Belastungen, sehr niedrigen oder sehr hohen Temperaturen sowie hohen Innendrüken. Wechselnde Zug-Druck-Spannungen wie z.B. Verkehrsbelastungen können ebenso zu Ermüdungsbrüchen führen. (SORGE ET AL., 2012, S. 82)

In der FWF sind PVC-Leitungen in nur sehr geringem Maße v.a. Anfang der 70er Jahre verlegt worden. Für Neuverlegungen sind PVC-Leitungen nicht vorgesehen. Aus der Sparte der Kunststoffleitungen werden für die Trinkwasserversorgung vorzugsweise PE-Leitungen eingesetzt. Aufgrund des geringen Einsatzes von PVC-Rohren wird auf diese Materialgruppe nicht detaillierter eingegangen.

PE-Leitungen

PE-Leitungen (Polyethylen) gehören ebenfalls zu der Werkstoffgruppe der Kunststoffe, wobei PE heute einer der am häufigsten industriell verwendeten Kunststoffe ist. (KRV, 2016)

PE-Leitungen besitzen ähnliche Eigenschaften wie PVC-Leitungen, sind jedoch elastischer und haben dadurch eine bessere Spannungsrissbeständigkeit. (KRV, 2016)

Im Zusammenhang mit verschiedenen Herstellungsmethoden und den sich daraus ergebenden unterschiedlichen Qualitäten können PE-Leitungen in Bezug auf ihre Zeitstands-Innendruckfestigkeit in Typen unterteilt werden, wie sie in Tabelle 11 zu sehen sind. (KRV, 2016)

Tabelle 11: Polyethylen-Typen (Eigene Darstellung nach KRV, 2016)

| Polyethylen Typen | MRS (Minium Required Strenght) |
|-------------------|--------------------------------|
| PE 63 | 6,3 N/mm ² |
| PE 80 | 8,0 N/mm ² |
| PE 100 | 10,0 N/mm ² |
| PE 100-RC | 10,0 N/mm ² |

Die Bezeichnung der SDR-Stufen bezieht sich auf die maximalen Betriebsdrücke, wobei SDR für „standard dimension ratio“ steht und das Verhältnis von Rohraußendurchmesser zu Rohrwanddicke angibt. Je kleiner die Verhältniszahl umso größer ist die Standhaftigkeit gegenüber Drücken. Standardmäßig gibt es beispielsweise für ein PE 100-RC die SDR-Stufen 17

und 11, welche den Drücken PN 10 und 16 bar zugeordnet sind. (WAVIN, 2016, S. 4) Eine Leitung PE 100 RC SDR 11 mit einem Außendurchmesser von 125 mm hat dann z.B. eine Wandstärke von 11 mm und eine Zeitstands-Innendruckfestigkeit von 10 N/mm^2 .

PE-Leitungen kommen in der FWF erst seit den letzten Jahren in sehr geringem Umfang zum Einsatz und spielen derzeit bei einer Rehabilitation eine untergeordnete Rolle. Daher soll auf eine weitere Ausführung an dieser Stelle verzichtet werden.

Weitere Leitungstypen

Neben den oben beschriebenen Rohrtypen gibt es einige weitere Rohrmaterialien, die für den Wassertransport und/oder bei Hausinstallationen zum Einsatz kommen. Im Rohrleitungssystem der FWF wurden ebenfalls einige Leitungstypen verwendet, die aufgrund ihrer geringen Relevanz für die hiesige Untersuchung keine gesonderte Beschreibung erhalten.

Andere Materialtypen wie z.B. erdverlegte Betonleitungen oder die sogenannten KG-Rohre (Kanalgrundrohr), KM-Rohre (Kunststoffmantelrohr) kommen hauptsächlich bei Überläufen bzw. Grundablässen oder als Schutzrohre (Beton oder Stahl) zum Einsatz und zählen in der FWF somit nicht zu Trinkwasserleitungen.

Bei den oberirdischen Installationen werden weitere Werkstoffgruppen verwendet. Hierzu gehören u.a. Leitungen und Formstücke aus Aluminium (ALU), rostfreiem Stahl (VA) oder Stahl mit gesonderten Anstrichen. Diese Leitungen befinden sich in den Wasserwerken, Hochbehältern, Schächten oder Abgabestellen und sind für die Instandhaltung jederzeit zugänglich. Diese Abschnitte spielen in der Risikoanalyse keine Rolle und werden daher nicht weiter betrachtet.

Rohrverbindungen

Parallel zur Materialentwicklung haben sich zu den jeweiligen Werkstoffgruppen die Rohrverbindungs-Techniken entwickelt. Die Rohrverbindungen sollen beispielhaft für Guss- und AZ-Leitungen beschrieben werden.

Guss-Rohrverbindungen

Im Rohrleitungsbau der Wasserversorgung kommen je nach Anforderung und Örtlichkeit der Leitungen unterschiedliche Rohrverbindungen zum Einsatz. Bei duktilen Gussrohrsystemen kann zunächst zwischen formschlüssiger Systemtechnik und nicht formschlüssiger Systemtechnik unterschieden werden, was unmittelbar mit der Verbindungsart der Rohre zusammenhängt. (DUKTUS, 2014)

Wie in Abbildung 20 zu sehen, kann des Weiteren generell zwischen Muffen-Verbindungen (links) und Flansch-Verbindungen (rechts) unterschieden werden. Muffen-Verbindungen kommen hauptsächlich bei erdverlegten Leitungen zum Einsatz, wohingegen Flansch-Verbindungen vorwiegend bei oberirdischen Leitungen bzw. Leitungen in Werksgebäuden (WW, HB, Pumpenhäuser, Schächten) eingesetzt werden.

Bezüglich der Übertragungseigenschaften wird zwischen längskraftschlüssigen und nichtlängskraftschlüssigen Verbindungen unterschieden. Längskraftschlüssige Verbindungen sind starr, unbeweglich und übertragen Längs- und Biegespannungen von Rohr zu Rohr, wie es z.B. bei Flansch-Verbindungen der Fall ist. Nichtlängskraftschlüssige Verbindungen sind in der nicht formschlüssigen Systemtechnik einzuordnen und sind i.d.R. Muffen-Verbindungen, die den Leitungen ein gewisses Maß an axialer Bewegung und Abwinkelbarkeit erlauben. (GRAS ET AL.,

1983, S. 80) Diese Art von Verbindungen ist primär für die konventionelle Verlegung im offenen Graben vorgesehen. Für besondere Ansprüche, wie beispielsweise bei grabenlosen Einbauverfahren, Gewässer- oder Grabenkreuzungen, kommen bei erdverlegten Leitungen längskraftschlüssige Muffen-Verbindungen zum Einsatz, die zur formschlüssigen Systemtechnik zählen. (DUKTUS, 2014, S. 48–126).

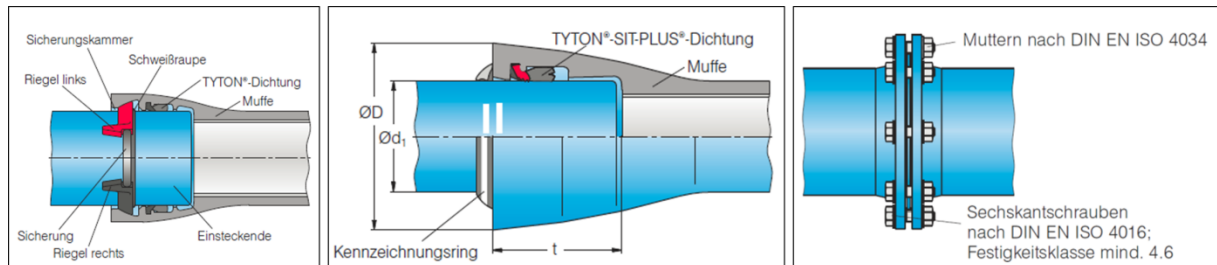


Abbildung 20: Gussrohr-Verbindungen (li.: Muffe, mi.: Tyton-Sit-Plus, re.: Flansch) (DUKTUS, 2014, S. 48 ff)

Geschichtlich gesehen gehören die Flanschverbindungen zu den ältesten Verbindungsarten und wurden erstmals 1882 vom DVGW genormt. (GRAS ET AL., 1983, S. 84) Zu den ersten weit verbreiteten Verbindungs-Techniken für erdverlegte Leitungen gehört die im 19. Jhd. verwendete Stemmuffen-Verbindung. Hierbei handelt es sich um eine nichtlängskraftschlüssige Verbindung, die nur im geringen Umfang beweglich ist. Im Jahr 1931 kam die Schraubmuffen-Verbindung auf den Markt, welche höhere Betriebsdrücke zuließ und weitere konstruktive Vorteile besaß. Fünf Jahre später folgte die Stopfbuchsenmuffen-Verbindung. Im Jahre 1957 wurde die aus den USA stammende TYTON®-Verbindung auf dem deutschen Markt eingeführt. (GRAS ET AL., 1983, S. 20–21) Hierbei handelt es sich um eine Art automatische Steckmuffen-Verbindung, die für hohe Innendrucke geeignet ist und bis heute eingesetzt wird. Sie ist eine nichtlängskraftschlüssige Verbindung und lässt bei Bodenbewegungen axiale Verschiebungen von etwa 60 bis 120 mm zu. Durch Weiterentwicklungen und Umbau der Steckmuffen-Systeme etablierten sich die zugfesten Muffenverbindungen bzw. die formschlüssige Systemtechnik mit längskraftschlüssigen Eigenschaften. (GRAS ET AL., 1983, S. 81–87) Hierzu gehören z.B. die sogenannten BRS-Verbindungen wie die Tyton-SIT-PLUS, s. Abbildung 20 Mitte.

Ein zu beachtender Bereich bei allen Rohrverbindungen ist der Übergang von Gebäudeleitung, WW, HB oder Schächten zu erdverlegten Leitungen, der i.d.R. einen Übergang von einer Flansch-Verbindung zu einer Muffen-Verbindung darstellt (vgl. Abbildung 21)



Abbildung 21: Beispiele Mauerdurchführungen (li.: Mit Schrumpfmanschette, Mitte: Noch ohne Manschette, re.: Innen mit Flansch) (Eigene Aufnahmen 2016)

Für die Rohrdurchführung kommt ein sogenannter Mauer-Flansch bzw. Mauer-F zum Einsatz. Wie in Abbildung 22 zu erkennen, wird der Mauer-Flansch in der Durchführungsmauer

verankert bzw. einbetoniert. Aus Korrosionsschutzgründen ist darauf zu achten, dass er nicht mit der Bewehrung in Berührung kommt. (MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 549)

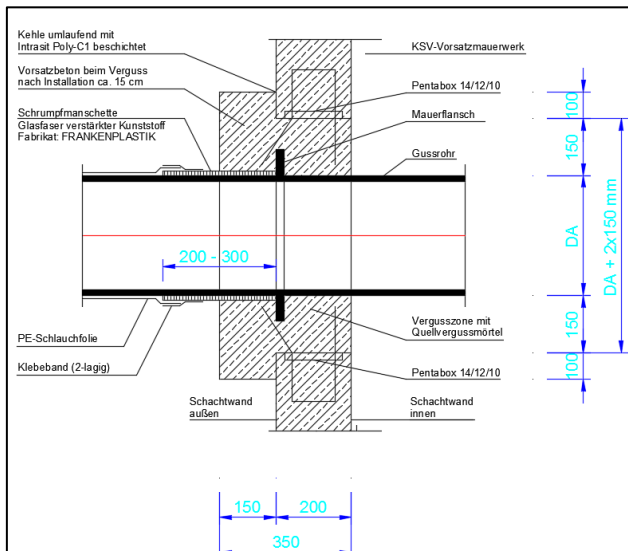


Abbildung 22: Detail – Mauerdurchführung (FWF, 2016)

Er besitzt an der Schachtwandaußenseite eine Muffen-Verbindung und nach innen eine Flanschverbindung. Erfahrungen haben gezeigt, dass Rohrleitungen gerade in diesem Übergangsbereich eine gewisse Schwachstelle aufweisen, da im Bereich zwischen Rohr und Betonübergang spezielle Korrosionsprozesse ablaufen können. (Rautenberg, 2016)

Beim Übergang von Muffen- zu Flanschrohren ändert sich häufig gleichzeitig der Materialtyp bezüglich seines Korrosionsschutzes. Daher ist bei älteren Leitungen häufig an dieser Stelle ein zu geringer Korrosionsschutz bzw. eine fehlende Abdichtung festzustellen. Abbildung 22 zeigt, dass nach dem heutigen Stand der Technik dem Korrosionsschutz im Außenbereich mehrere Maßnahmen dienen. Hierzu gehören eine zusätzliche Schrumpfschlauchmanschette, eine PE-Schlauchfolie sowie der Beton-Vorsatz um das Rohr herum. (Seidel, 2016)

Verbindungen bei AZ-Leitungen

Die Rohrleitungsabschnitte der AZ-Leitungen sind prinzipiell alle gleich aufgebaut und besitzen generell keine eigenen Verbindungsmöglichkeiten. Erst mit den unterschiedlichen Kupplungen oder Formstücken können Verbindungen oder Anschlüsse vorgenommen werden.

Bei AZ-Leitungen wird bei Rohrverbindungen vorzugsweise von Rohr-Kupplungen gesprochen. Generell kommen je nach Anforderung und Anwendung eine Reihe genormter Kupplungen zum Einsatz, die vom Prinzip her sehr ähnlich sind. Für die Verbindung zweier Rohrabschnitte wird üblicherweise eine sogenannte Reka-Kupplung (RK) oder Reka-Langkupplung (RKL) eingesetzt (vgl. Abbildung 23). Die RK ist eine werkstoffgleiche, selbstdichtende Doppel-Steckmuffe, die das Verbindungsstück zwischen zwei Rohrleitungslängen ist. (Eternit, 1974, S. 26)

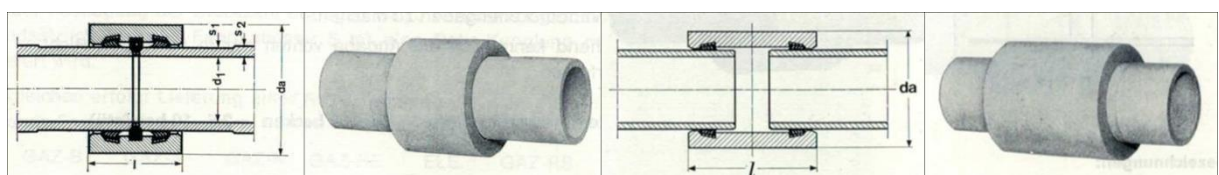


Abbildung 23: AZ-Rohrverbindung I (links: RK, rechts: RKL) (Eternit, 1974, S. 58-61)

Bei Querschnittsänderungen werden dementsprechend sogenannte Reka-Reduzierkupplungen RKR und für Hausanschlüsse Reka-Anbohrkupplungen RKA verwendet (vgl. Abbildung 24). Bei

Bedarf können mit Z O K Kupplungen zwischen AZ-Leitungen zugfeste, längskraftschlüssige Verbindungen z.B. für Unterwasserleitungen oder Düker hergestellt werden.

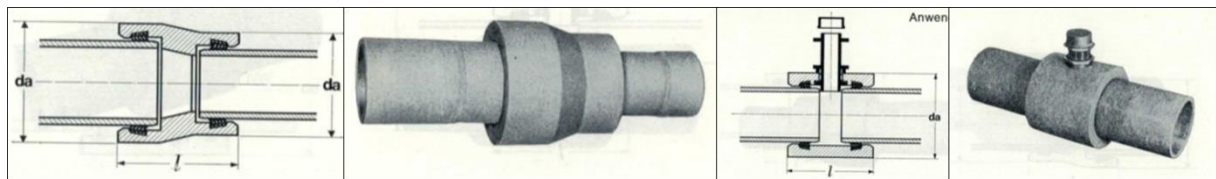


Abbildung 24: AZ-Rohrverbindung II (links: RKR, rechts: RKA) (Eternit, 1974, S. 62–64)

Ändert sich der Werkstoff innerhalb eines Leitungsabschnittes, werden sogenannte Reka-Übergangskupplungen RKU mit einem Anschlagring verwendet, wie sie in Abbildung 25 zu sehen sind. RKU lassen sich mit Guss, Stahl oder Kunststoffrohren verbinden. (Eternit, 1974, S. 26)

Beim Übergang zu Schächten bzw. Bauwerken werden ebenfalls RKU oder Flansch-Kupplungen (FK) eingesetzt, was aber in jedem Fall einen Wechsel des Werkstoffs bedeutet. In vielen Fällen besteht die zuvor angesprochene Mauerdurchführung bei AZ-Leitungen aus Stahl-Formstücken, so dass eine ähnliche Problematik wie bei den Guss-Rohren entstehen kann. Bei der Auswertung der Schadenstatistik ist daher darauf zu achten, dass sich Korrosionsschäden von AZ-Leitungen häufig auf die Mauerdurchführung aus Stahl oder Guss beziehen, also nicht direkt die Leitung betreffen. (Rautenberg, 2016)

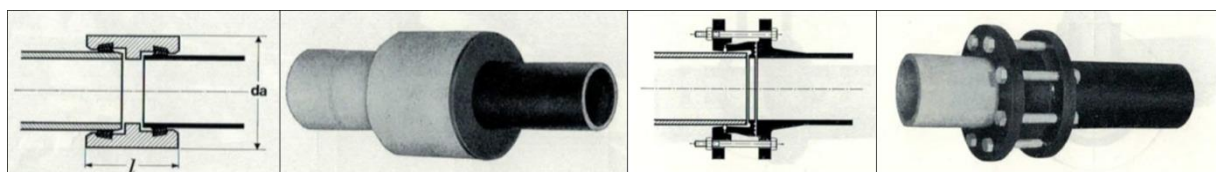


Abbildung 25: AZ-Rohrverbindung III (links: RKU, rechts: FK) (Eternit, 1974, S. 63–67)

Die Erfahrungen der letzten Jahre haben ebenfalls gezeigt, dass gerade die Verbindungen bzw. Kupplungen der AZ-Leitungen eine Schwachstelle darstellen. Aufgrund von Bodenbewegungen kann es an den Kupplungen zu Rissen und somit zu Undichtigkeiten kommen. (Seidel, 2016)

Korrosion und Korrosionsschutz - Rohrumhüllung

Eine der hauptsächlichen Schadensursachen bei metallischen Rohrleitungen ist die **Korrosion**. Diese kann allgemein als ein elektrochemischer physikalischer Vorgang zwischen der Rohrleitung und ihren Umgebungsstoffen beschrieben werden, der unter bestimmten Bedingungen stattfindet. (GRAS ET AL., 1983, S. 125) Leitungen können sowohl innerhalb als auch außerhalb durch Innen- oder Außenkorrosion betroffen sein. Bei der Innenkorrosion sind die Eigenschaften des durchgeleiteten Wassers sowie seine Aggressivität entscheidend.

Für das Maß der Außenkorrosion sind die das Rohr umgebenden Bodenverhältnisse, der Bodentyp, -feuchte bzw. GW-Verhältnisse sowie der Sauerstoffgehalt ausschlaggebend. Eine besonders hohe „Bodenaggressivität“ geht beispielsweise von Torf, Schlick und Marschböden bzw. von Böden mit hohen Anteilen an Schwefelwasserstoff oder Asche aus. Das Ziel des Korrosionsschutzes ist daher, die Umgebungsstoffe von der metallischen Oberfläche fernzuhalten und/oder den elektrochemischen Prozess zu unterbinden. (MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 592)

Ausgehend von den Umgebungsstoffen, der Funktionalität des Korrosionsschutzes sowie anderer äußerer Einflüsse kann zwischen folgenden Korrosionsarten unterschieden werden: (DIN EN 12502-1, 2004)

- gleichmäßige Flächenkorrosion
- örtliche Korrosion
 - Lochkorrosion
 - Spaltkorrosion
 - Selektive Korrosion
 - Messerschnittkorrosion
 - Bimetallkorrosion
 - Erosionskorrosion
 - Spannungskorrosion
 - Korrosionsermüdung

Eine besondere Form der Korrosion bei Gussrohren ist die Graftierung, auch bekannt als Spongiose, die in die selektive Korrosion einzuordnen ist. Hierbei werden die Eisenbestandteile des Gusseisens (Ferrit und Perlit) selektiv korrodiert bzw. aufgelöst, so dass nur die netzartige Graft-Struktur zurück bleibt. Das Korrosionsprodukt (FeOOH) wird aufgrund seiner porösen Masse als „Eisenschwamm“ bezeichnet, wovon sich die Bezeichnung Spongiose (lat. Spongius = Schwamm) ableitet. Das Gusseisen verliert hierdurch seine Festigkeit und ist dadurch mechanisch nicht mehr belastbar. (DIN EN 12502-5, 2004, S. 4)

Neben den Werkstoffeigenschaften, der Wasserbeschaffenheit und den Bodeneigenschaften gibt es weitere Faktoren, die die Korrosionswahrscheinlichkeit beeinflussen können. Bereits bei der Planung und Ausführung, der Prüfungen und Inbetriebnahme sowie bei aktuellen Betriebsbedingungen ist auf Korrosionsschutzvorkehrungen zu achten. Hierzu gehören u.a. äußere elektrische Einflüsse. (DIN EN 12502-1, 2004, S. 7; MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 593)

Beim **Korrosionsschutz** der Rohre gegen innere- und äußere Korrosion wird unterschieden zwischen **passiven und aktiven** Korrosionsschutzmaßnahmen. Bei ersteren handelt es sich um innere Beschichtungen, Anstriche oder äußere Umhüllungen bzw. Ummantelungen. Zu aktiven Maßnahmen zählt u.a. das Anlegen einer Spannung. (DVGW W400-2, S. 26)

Passiver Korrosionsschutz sollte extrem geringe Permeabilität für Wasser und Sauerstoff aufweisen und über einen sehr hohen elektrischen Widerstand verfügen. (ROSCHE ET AL., 2015, S. 91) Weitere Anforderungen sind eine lange chemische-, mechanische-, Alterungs- und Temperaturbeständigkeit, gute Haftung am Rohr, hohe Elastizität und hohe Druck- und Schlagfestigkeit. (MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 594)

In den Anfängen der Korrosionsschutzmaßnahmen kamen einfache innere und äußere Tauchbituminierung bei Guss und Stahlrohren zum Einsatz.

Heute wird bei Guss und Stahl für den **Innenschutz** die Rohrinneenseite standardmäßig mit Zementmörtel (ZM) nach DVGW-Arbeitsblatt W 346 und W 347 ausgekleidet bzw. ausgeschleudert. Die werkseitige Zementmörtelauskleidung begann ab ca. 1965. (ROSCHE ET AL., 2015) Diese Beschichtung hat zugleich eine passive wie auch aktive Schutzwirkung, da sie als Trennschicht dient und durch den Kalkgehalt den pH-Wert anhebt. Bei Stahl ist ebenfalls eine Verzinkung für den Innenschutz möglich. (MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 593)

Bei ZM-Auskleidungen ist zudem darauf zu achten, dass das Kalkkohensäuregleichgewicht KKG im aufbereiteten Wasser nach den jeweiligen Aufbereitungsschritten richtig eingestellt ist. Um

Schäden an der Schutzschicht zu vermeiden, ist für Wässer mit einer Kalklösekapazität ≥ 15 mmol/l, im Fall einer Leitungsentleerung darauf zu achten, dass die Zementmörtelauskleidung nicht vorübergehend austrocknet. (LfU, 2010, S. 2)

Der **Außenschutz** besteht heute i.d.R. aus mehreren Schichten. Als Standardschutz erfolgt eine Spritzverzinkung mit einer Bitumen-Deckbeschichtung, die bereits zu einem erhöhten Außenkorrosionsschutz zählt und seit ca. 1968 angewandt wird. (ROSCHER ET AL., 2015) Das Zink wirkt als Opferanode, d.h. es geht anstelle des Eisens in Lösung. (MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 593) Als Erweiterung der Zink-Beschichtung kommt ebenfalls häufig eine Zink-Alu Beschichtung (85% Zink, 15% Alu) zum Einsatz. Bei besonderer Beanspruchung bzw. als erhöhter Schutz können PE-Umhüllung oder Zementmörtelumhüllungen verwendet werden. Rohre mit Zementmörtelumhüllung (ZMU) gehören aktuell zu den robustesten Gussrohren, halten hohen mechanischen Beanspruchungen stand und sind für alle Böden geeignet. (SAINT-GOBAIN, 2007) PE-Umhüllungen und ZMU-Rohre sind seit Ende der 1970er bzw. seit Anfang der 1980er auf dem Markt (ROSCHER ET AL., 2015), kamen jedoch wie beispielsweise in der FWF anfangs nur vereinzelt zum Einsatz.

Unter **aktivem** Schutz wird neben der Funktion des ZM hauptsächlich der kathodische Korrosionsschutz KKS verstanden. Dieser wird bei metallischen Rohrleitungen als zusätzlicher Schutz für die äußere Rohroberfläche eingesetzt. Beim KKS wird durch das Anlegen einer elektrischen Spannung an die Rohrleitung und die Zufuhr von Elektroden die metallische Oberfläche zur Kathode. Hierdurch wird den Korrosionsprozessen entgegengewirkt, indem der kathodische Reduktionsvorgang befriedigt wird, so dass keine Eisen-Ionen in Lösung gehen. Voraussetzung für die Anwendung des KKS ist eine durchgehende, elektrische Leitfähigkeit der Leitungen, d.h. dass bei Muffenverbindungen mit Gummidichtungen eine Überbrückung hergestellt werden müsste. (MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 595) Aufgrund dieser Tatsache ist der KKS bei duktilen Gusseisen und Stahlrohren mit Muffenverbindungen nicht üblich. KKS ist aktueller Stand der Technik, findet aber vorwiegend Anwendung bei geschweißten Stahlleitungen. Da diese Art der Leitungen und auch der KKS bei den erdverlegten Leitungen der FWF nicht zum Einsatz kommen, wird hierauf nicht detaillierter eingegangen.

Als weitere Möglichkeit wird aktuell der Einsatz von Korrosionsinhibitoren diskutiert. Es kann jedoch derzeit noch nicht genau beurteilt werden, ob der Einsatz tatsächlich zu geringerer Korrosion in den Leitungen führt. Eine Studie des TZW hat damit auseinander gesetzt, mit welchen Methoden sich die Korrosionserscheinungen bzw. der Einsatz von Korrosionsinhibitoren beurteilen lassen können. Eine eindeutige Reduktion von Eisenablagerungen in den Leitungen (korrosiver Leitungsabschnitte wie GG) bzw. Trübungswerten konnten im Feldtest nicht festgestellt werden. Es ist daher davon auszugehen, dass die Korrosionsprozesse trotz Inhibitorzusatzes nicht vollständig unterbunden werden können. (TZW, 2013, S. 149–160)

Korrosion bei AZ-Leitungen

Wie zuvor ist auch hier das Zusammenwirken des Rohrmaterials mit Wasser- und Bodenverhältnissen das entscheidende Kriterium für die Korrosion. Anders als bei metallischen Leitungen gibt es bei zementgebundenen Leitungen keine elektro-chemische Korrosion im herkömmlichen Sinne.

AZ-Leitungen sind daher gegenüber Sauerstoff, den damit verbundenen Oxidationsprozessen sowie der in anaeroben Böden stattfindende Sulfatreduktion unempfindlich. (Eternit, 1974, S. 17)

Die Korrosion bei Faserzement oder AZ-Leitungen kann daher hauptsächlich im Zusammenhang mit kalkaggressiven Böden oder Wässern mit erhöhten Mengen an kalklösender Kohlensäure vorkommen. Das Herauslösen folgt dem Prinzip des KKG was bedeutet dass es sobald das Calciumcarbonat umgesetzt wird, zur schrittweisen Erweichung des Zements kommt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nur ein Teil der überschüssigen Kohlensäure in Abhängigkeit von der Karbonarthärte kalkaggressiv wirkt. (Eternit, 1974, S. 17)

5.5.2.3 Definition von Generationen

In Anlehnung an die zuvor beschriebenen Entwicklungen der verschiedenen Rohrleitungen sind die Leitungstypen weiter in Generationen bzw. Werkstoffgruppen zu untergliedern. Im DVGW W 402 sowie in anderen Studien sind Untergliederungen festgelegt, die stellenweise unterschiedliche Abgrenzungen zeigen. Während Herstellungszeiträume und Markteinführungen recht gut definiert sind, lassen sich Verlegezeiträume bzw. die Anwendung in der Praxis nur durch Erfahrungen und Statistiken abschätzen. Letztendlich gilt es zu überprüfen, wann die unternehmensinterne Umstellung von einem Rohrleitungsstandard zum nächsten stattgefunden hat. Dies kann lediglich anhand interner Dokumente, Aufzeichnungen oder Erfahrungen ermittelt werden.

Die Tabelle 13 zeigt eine Zusammenstellung der Generationsgliederung und möglicher Verlegezeiträume der jeweils werkstoffspezifischen Leitungstypen aus verschiedenen Quellen. Wie zu erkennen, ist die Abgrenzung in Generationen v.a. bei Eisenwerkstoffen anzuwenden, da hier zwischen den Herstellungsformen und Entwicklungen im Korrosionsschutz unterschieden werden kann. Die Untergliederung der GG in drei Generationen ist angelehnt an die IWW Studie, bei der eine große Anzahl statistischer Rohrleitungsdaten verarbeitet wurde. Die zwei Generationen der duktilen Gussrohre unterscheiden sich v.a. dadurch, ob ein hochwertiger Korrosionsschutz vorhanden ist oder nicht. Die genaue Abgrenzung der Verlegezeiträume ist auch hier unternehmensintern zu überprüfen. Von hochwertigem Korrosionsschutz bei Guss- oder Stahlleitungen kann dann ausgegangen werden, wenn die Leitungen ordnungsgemäß eingebaut, betrieben werden und aktive oder passive Korrosionsschutzmaßnahmen wie Zementmörtelauskleidung (ZM), thermoplastischer Umhüllung, Zementmörtelumhüllung (ZMU) bzw. KKS verwendet wurden. Einfache äußerliche Anstriche oder bituminöse Umhüllungen sind in die Gruppe ohne hochwertigen Korrosionsschutz einzuordnen (vgl. auch Tabelle 12). (DVGW W 402-B1 (A), 03/2015, S. 7–8)

Tabelle 12: Entwicklung der Gussrohrherstellung (ROSCHER ET AL., 2015, S. 79)

| | 1850 | 1900 | 1920 | 1940 | 1960 | 1980 | 2000 |
|-----------------------|--|------|------|------|------|------|------|
| Herstellungsverfahren | Guss einzelner Rohre in stehenden Sandformen | | | | | | |
| | <u>GG 1. Gener.:</u> 1885 in stehenden Sandformen auf einem Drehgestell (Bildung einer Schutzschicht aus SiO ₂) | | | | | | |
| | <u>GG 2. Gener.:</u> 1926 Schleudergussverfahren von de Lavaud in liegenden rotierenden Metallformen | | | | | | |
| | <u>GGG 1. Generation:</u> 1951 duktiler Guss in Europa 1956 duktiler Guss in der BRD etwa 1980 duktiler Guss in der DDR | | | | | | |
| | <u>GGG 2. Generation:</u> ab etwa 1980 in der BRD duktiler Guss mit erhöhtem Korrosionsschutz <u>heutiger Stand der Technik:</u> – Zinküberzug nach der thermischen Nachbehandlung – Zementmörtel-Ankleidung im Rotationsschleuderverfahren oder – Polyethylen-Umhüllung aus Low-density (LD)-Polyethylen unter Verwendung eines Klebers (bis DN 500 im Schlauchextrusionsverfahren (Extrusion), ab DN 400 einschließlich Wickel-extrusionsverfahren – <u>Zementmörtel-Umhüllung mit folg. Schichtaufbau:</u> Zinküberzug, Zwischenschicht (Zweikomponenten-Kunstharzbeschichtung) Zementmörtelschicht (in die Schicht kann Kunststoffbinde eingearbeitet werden) | | | | | | |
| Rohrverbindungen | die anfangs verwendete Flanschverbindung wurde durch die Stemmuffe abgelöst Muffenverbindung (Teerstrick, Blei-Stemmuffe) um 1900 für geringe Drücke: Kautschukring 1931 Schraubmuffenverbindung für höhere Betriebsdrücke (Gummidichtung) 1936 Stopfbuchsverbindung 1957 Tyton-Verbindung (Steckmuffe mit Dichtring) Steckmuffen-System Standard und TYTON Zugfeste Verbindungen, Gummidichtungen TIS, TIS-K, SV, TKF, TYTON-SIT, Novo-SIT | | | | | | |
| Korrosionsschutz | Erwärmung der Rohre auf 150 bis 180 °C in kochende Asphaltmasse getaucht, dünner gleichförmiger Überzug (bei Verlegung in aggressiven Böden: Einbettung Lehm und Ton) innen und außen asphaltiert Stand 1980: Bitumen-Beschichtung oder Polyethylen-Umhüllung oder bei großen Rohren in Wickelextrusionsverfahren etwa 1965: werkseitige ZM-Ausschleuderung, FZM-Umhüllg. Korrosionsschutz heutiger Stand: siehe oben | | | | | | |

Die nahezu gleichbleibende Herstellung des Materials und der Verbindungstypen bei AZ-Leitungen entspricht von der Einführung bis zum Verbot nur einer Generation. Kunststoffrohre aus PVC oder PE haben bezogen auf ihre Materialzusammensetzung und die dadurch abgeleitete Nutzungsdauer keine großen Generationswechsel vollzogen.

Tabelle 13: Werkstoffspezifische Generation (Eigene Darstellung nach DVGW W 402 (A), 09/2010; SORGE ET AL., 2012; ROSCHER ET AL., 2015)

| Werkstoff | | Generation | | | | | |
|----------------|---|----------------|-----------|------|-------|------|-----------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | |
| Eisenwerkstoff | Grauguss mit Lamellengrafit (GG bzw. GJL) * | 1850/1885 | 1925 | 1926 | 1945 | 1946 | 1960/1965 |
| | Grauguss mit Kugelgraft (GGG bzw. GJS) | 1951/1960/1966 | 1970/1980 | 1981 | heute | | |
| | Stahl (St) * | ~1900 | 1940 | 1941 | 1979 | 1980 | heute |
| Faserzement | Asbestzement (FZ/ AZ) | 1930 | 1990 | | | | |
| Kunststoff | Polyvinylchlorid (PVC) | 1920 | heute | | | | |
| | Polyethylen (PE) | 1973 | heute | | | | |

In Tabelle 14 wird die Einteilung der Generationen bezogen auf den Rohrleitungsbestand der FWF vorgenommen. Anhand des Verlegedatums der Rohrleitung und mit Hilfe von Erfahrungswerten können eigene Zeitfenster den definierten Generationen zugeordnet werden.

Auf Grundlage der definierten Zeitfenster können den Leitungsabschnitten die Eigenschaften der Generationen zugeordnet werden, sofern diese im Datenbestand nicht erfasst sind.

Tabelle 14: Werkstoffspezifische Generation der FWF, Verlegezeiten (Eigene Darstellung)

| Werkstoff | | Generation | | | | | | | |
|---------------------|---|------------|-------|------|------|----|-------|------|------|
| | | 1 | | 2 | | | | 3 | |
| Eisen- werkstoff | Grauguss mit Lamellengrafit (GG bzw. GJL) * | | | | | | | 3a | 3b |
| | | | | | | | | 1951 | 1962 |
| | | | | | | | | 1963 | 1967 |
| | Grauguss mit Kugelgrafit (GGG bzw. GJS) | 1966 | 1966 | 2a | 2b | | | | |
| | | | | 66 | 05 | 05 | heute | | |
| | Stahl (St) * | | | 1955 | 1960 | | | / | / |
| Zement | Asbestzement (AZ) | 1957 | 1986 | | | | | | |
| Kunststoff | Polyvinylchlorid (PVC) | 1970 | 1976 | | | | | | |
| | Polyethylen (PE) | 2012 | heute | | | | | | |

Die Festlegung der Generationsabgrenzung für die FWF basiert auf der statistischen Auswertung der Leitungsbestandsdaten, einer Archiv-Recherche sowie Experten-Interviews mit langjährigen Mitarbeitern der FWF (Hr. Rautenberg, Hr. Seidel, Hr. Mersi).

So konnte z.B. festgelegt werden, dass eine weitere Unterteilung der Graugussleitungen ab dem Jahr 1963 durch die zusätzliche Zementmörtel-Auskleidung sinnvoll ist. Die Generationsunterscheidung anhand des erweiterten Korrosionsschutzes lässt sich über interne Dokumentation den Bauabschnitten zuordnen. Die teilweise werkseitige ZM-Auskleidung der Graugussleitungen kann generell als Besonderheit aufgefasst werden. (Sorge, 2016) Der Einsatz von werkseitigen ZM-Auskleidungen wird in der Literatur ab ca. 1965 beschrieben (vgl. Tabelle 12). (ROSCHER ET AL., 2015)

Ab dem Jahr 1966 kamen in der FWF zum ersten Mal duktile Gussrohre zum Einsatz. Anhand der Bestandsdokumentation und der Datenauswertung konnte festgestellt werden, dass bis auf einzelne identifizierte Bauabschnitte bereits ab diesem Zeitraum ausschließlich GGG Rohre mit ZM-Innenauskleidung und überwiegend Zink-Umhüllung zum Einsatz gekommen sind. (Seidel, 2016) Laut Definition sind diese Leitungsabschnitte bereits der zweiten Generation zuzuordnen. (Sorge, 2016) Ab etwa 1993 gibt es erste Dokumentationen über den Einsatz von GGG mit ZMU nach dem heutigen Standard. Ab 1995 wurden Rohre mit hochwertigem Außenkorrosionsschutz bei BA eingesetzt, die mit Fördergeldern bezuschusst wurden. Hierzu gehören Bauabschnitte die nicht zu der BA-500er-Reihe gehören. In diesem Zeitraum wurden u.a. vermehrt Duktulgussrohre vom Hersteller „Biwater“ aus England eingebaut. Eine klare zeitliche Grenze für den Einsatz der zweiten Generation (2b mit ZMU) in der FWF ist erst ab ca. 2005 zu garantieren, nachdem festgelegt wurde, nur noch Rohre mit dem hochwertigen Korrosionsschutz zu verwenden. Für die Übergangsphase muss daher auf die vorhandene Dokumentation der Leitungsabschnitte zurückgegriffen werden. (Seidel, 2016) Für die zweite Generation kann anhand des Korrosionsschutzniveaus, ZM-Innen und ZM-Innen + ZM-Außen, eine weitere Untergliederung in Generation 2a und 2b vorgenommen werden. Die Nutzung der zweiten GGG-Generation hat im Vergleich zu den literarischen Generationszeiträumen in der FWF etwas früher eingesetzt (vgl. Tabelle 14). Die definierte GGG 1 Generation ist somit bis auf wenige Ausnahmen nicht verbaut worden.

Stahlrohre wurden nur in einem sehr begrenzten Zeitraum in den 50er Jahren eingesetzt, so dass sie sich der zweiten Generation zuordnen lassen, d.h. dem Generationszeitraum zwischen 1940 bis 1979. Ab dieser Generation werden erste Korrosionsschutzmaßnahmen angewandt, in der FWF allerdings ohne ZM-Innen, ohne ZMU und ohne KKK. Im Verhältnis zum Gesamtleitungsbestand handelt es sich hierbei um sehr kurze Abschnitte. Bis auf wenige Ausbesserungsstücke wird Stahl in der FWF derzeit nicht verbaut.

Für die AZ- sowie PVC-Leitungen wird keine Generationsunterscheidung vorgenommen, weshalb sich die Zeiträume an den Verlegedaten der Leitungen orientieren. Längere Abschnitte von PE-Leitungen kamen erst in den letzten Jahren vereinzelt u.a. für Ortseinbindungen zum Einsatz. Auf eine weitere Untergliederung wird hier aufgrund der geringen Relevanz für die Rehabilitation verzichtet. In der nachfolgenden Abbildung 26 ist der aktuelle Leitungsbestand (2016) nach den festgelegten Generationen bzw. Werkstoffgruppen und Verlegejahren dargestellt.

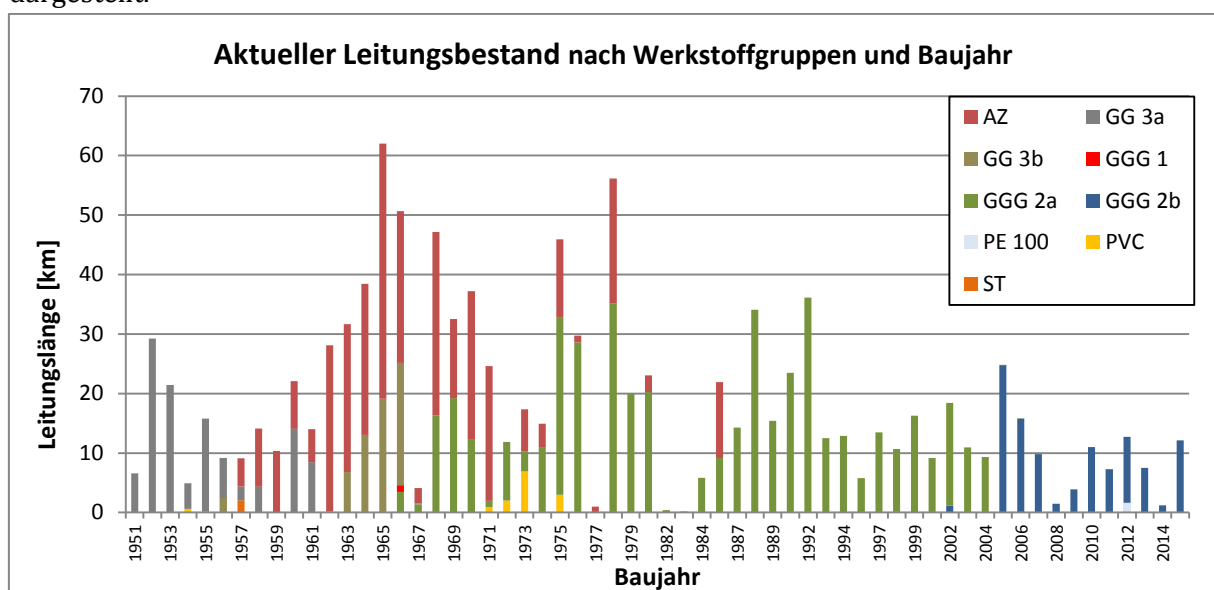


Abbildung 26: Aktueller Leitungsbestand nach Werkstoffen und Baujahr (Eigene Darstellung)

Abbildung 27 zeigt zudem die absoluten Leitungslängen in Kilometern pro Werkstoffgruppe.

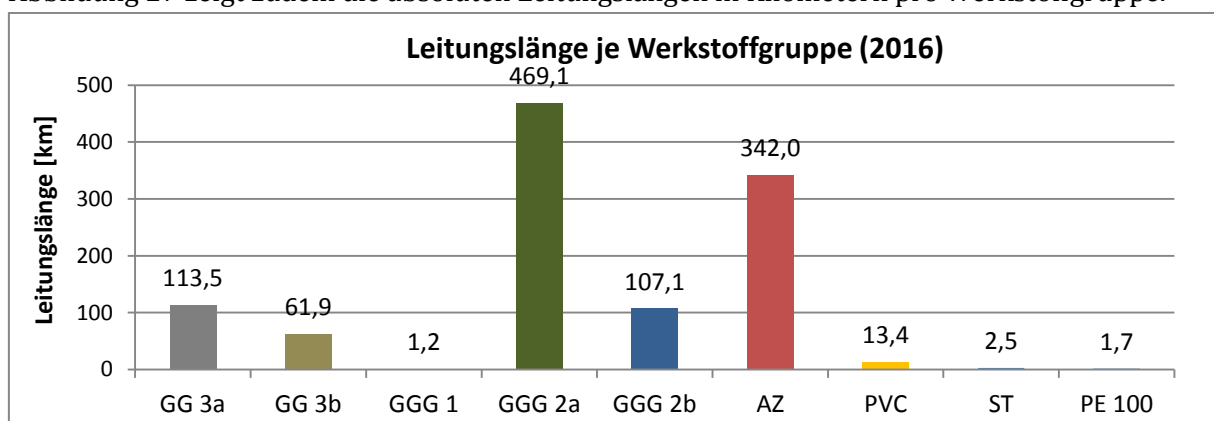


Abbildung 27: Leitungslängen nach Werkstoffgruppen (Eigene Darstellung)

Die Informationen des aktuellen Leitungsbestands werden wiederum als Eingangsparameter in den unterschiedlichen Fragestellungen und Ergebnissen wie auch der Kennzahlenberechnung verwendet.

5.5.2.4 Bodenbeschaffenheit

Eine wichtige Komponente bei der Materialauswahl für Neuverlegungen bzw. zur Beurteilung von Leitungsbelastungen ist die das Rohr umgebende Bodenbeschaffenheit (vgl. Kapitel Korrosion). Im FWF-Datenbestand sind diese Informationen zur Bodenbeschaffenheit aktuell noch nicht im geeigneten Format vorhanden. Aufgrund des großen Bearbeitungsaufwands, der zur Aufbereitung und Erstellung des gewünschten Datenbestands benötigt würde, kann die Bodenbeschaffenheit in der Risikobewertung aktuell nicht berücksichtigt werden. Vollständigkeitshalber wird jedoch kurz auf den Ansatz zur Beurteilung der Bodenbeschaffenheit in Zusammenhang mit Rohrleitungen eingegangen.

Anhand der Bodenbeschaffenheit kann eine physikalische Beeinflussung auf die Rohrleitung entstehen, die durch hohe Auflasten, Bodenbewegungen oder bei groben Korngrößen, Reibungen verursacht. Ausgehend von der Bodenzusammensetzung, dem Wassergehalt sowie anderer Einflüsse können elektrochemische und physikalische Prozesse im Boden die Korrosion von eisenhaltigen Rohrleitungen mehr oder weniger stark beeinflussen.

Die Festlegung und Beurteilung der Bodenaggressivität und des korrosionschemischen Verhaltens kann nach DVGW GW 9 (A) und DIN 50929-3 erfolgen. (DVGW W 400-2, 09/2004, S. 25) Für die Bodenaggressivität bzw. die Beurteilung der Korrosionsbelastung, werden die Böden wie in Tabelle 15 dargestellt nach DIN 50929-Teil B und dem DVGW GW 9 in vier Hauptbodenklassen eingeordnet.

Tabelle 15: Einordnung der Böden nach den Hauptgruppen (DIN 50929 Teil B)

| Bewertungszahl | Bodenklasse | Bodenaggressivität |
|----------------|-------------|---------------------------|
| > 0 | I a | Praktisch nicht aggressiv |
| -1 bis -4 | I b | Schwach aggressiv |
| -5 bis -10 | II | Aggressiv |
| < -10 | III | Stark aggressiv |

Einige Einflussfaktoren zur Entscheidung der Rohrbeschichtungen bzw. den Rohraußenschutz sind daher die Boden- und Grundwasseraggressivität, Korngröße der Einbettung, Temperatur des Mediums, Temperatur der Umgebung sowie das Einbauverfahren. (DUKTUS, 2014, S. 228)

Duktile Graugussleitungen mit einer ZMU können bei allen Bodenklassen auch bei stark aggressiven Böden verbaut werden. (SAINT-GOBAIN, 2007) Der Rohraußenschutz in Form der ZMU hat zudem eine hohe physikalische Schutzwirkung gegenüber grobem Bodenmaterial und kann i.d.R. ohne gesonderte Bettung verlegt werden. (Seidel, 2016)

Aktuell werden die Umgebungseinflüsse wie die Böden, Bodenbewegungen oder Verkehrslasten auf die Leitungen bei Schadensereignissen nur in den seltensten Fällen statistisch erfasst und sind daher unternehmensübergreifend nicht quantifizierbar. (SORGE ET AL., 2012, S. 5)

Im Idealfall liegen Informationen der Bodeneigenschaften ähnlich der Basisdaten für jeden Leitungsabschnitt im GIS-Datenbestand vor. Im Fall der FWF wird diese Informationsverknüpfung zurzeit aufgebaut, ist aktuell jedoch nicht verfügbar.

Die Bewertung der Bodenbeschaffenheit kann in jedem Fall als optionale Erweiterung der Risikoanalyse verwendet werden. Bei sehr aggressiven oder stark fließenden Böden könnte hierdurch die Eintrittswahrscheinlichkeit von Schäden früher erkannt werden.

5.5.3 Schadensstatistik

Eine ausführliche Schadensdokumentation sowie die daraus resultierende Statistik sind eines der wichtigsten Mittel zur Beurteilung des Zustands sowie der Lebensdauer von Rohrleitungen. Die Zustandsdaten sind daher insbesondere durch die Schadensdaten zu ergänzen. (DVGW W 402 (A), 09/2010, S. 7)

Die Auswertungen der Schadensdokumentation kommt in dieser Arbeit sowohl auf Ebene der VB für die Kennzahlen, zur Bewertung der Werkstoffklassen sowie als Kriterium bei der Risikoanalyse zum Einsatz.

Datengrundlage

In einem ersten Schritt der Auswertung des Leitungsbestands und der Rohrschadensdokumentation galt es, die Daten auf Vollständigkeit, Qualität und Plausibilität zu prüfen. Die Daten der Schadensdokumentation der FWF lagen in drei verschiedenen Formaten vor. Ein Teil der Schäden ist im internen GIS, den in Betrieb befindlichen Leitungsabschnitten zugeordnet und kann hieraus einfach exportiert werden. In einer internen Excel-Dokumentation sind die Schadensereignisse pro Jahr in jeweiligen Tabellenblättern dokumentiert. In dieser Statistik werden alle Schäden pro Jahr inklusive der an bereits stillgelegten Leitungen vermerkt. Der Zeitraum der digital erfassten Schadensdaten reicht von 2015 bis in das Jahr 1994 zurück. Der Abschnitt von 2015 - 2001 liegt in guter Datenqualität bzw. Konsistenz vor, während in den Jahren von 2000 - 1994 bei den bereits stillgelegten Leitungen einige Datenlücken bestehen. Bei einer Recherche im Archiv konnten die fehlenden Daten nicht aufgefunden werden, stattdessen jedoch eine dritte handschriftliche Datenquelle mit älteren Ereignissen, die Schäden von 1954 bis 1994 dokumentiert. Hier bedurfte es zunächst einer Digitalisierung der Daten, um ihre Inhalte auswerten zu können. Die historischen Daten beziehen sich vorwiegend auf bereits stillgelegte Leitungen, so dass ein örtlicher Bezug zu den VB sowie den Leitungsabschnitten nicht hergestellt werden konnte.

Bei der Dokumentation von Rohrschäden sind neben den allgemeinen Bestandsdaten der betroffenen Leitungen Informationen zu Schadensart, Schadensursachen, Art der Schadensbeseitigung sowie weiterer Besonderheiten anzugeben. Ein Beispiel für die Schadensarten sind Bruch-, Riss- oder Lochschäden wohingegen Bodenbewegungen, Materialfehler, Korrosion oder Fremdeinwirkungen zu den Schadensursachen zählen. (DVGW W 402 (A), 09/2010, S. 25)

Da das Ergebnis der Schadensstatistik Rückschlüsse gewährleisten soll, ist es wichtig, dass nur risikorelevante bzw. zustandsabhängige Schadensursachen bei der Auswertung einbezogen werden. (SORGE ET AL., 2012, S. 18) Fremdverursachte Schäden wie Rohrbrüche durch Baggerarbeiten oder ähnliches sollen eliminiert bzw. herausgefiltert werden. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass nur Schäden der relevanten Objektgruppe den Leitungen zugeordnet werden, d.h. nur Leitungsabschnitte für Trinkwasser und keine Armaturen oder Schächte. (DVGW W 402 (A), 09/2010, S. 15)

Damit eine Schadensstatistik als belastbar angesehen werden kann ist es notwendig, dass eine statistisch ausreichende Anzahl von Schadensfällen und Schadensjahren berücksichtigt wird. Für belastbare Ausfallprognosen werden vom DVGW Zeitreihen der Schadensdaten von mindestens 10 bis 20 Jahren empfohlen. Weiterhin ist die Qualitätssicherung der Daten v.a. der Datenerfassung und -auswertung zu berücksichtigen. Datenkonsistenz und Datengüte können durch eine stetige Plausibilitätsprüfung bei der Datenerfassung, -pflege und -auswertung

erhalten bleiben. (DVGW W 402 (A), 09/2010, S. 18–19) Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, erfolgte die Auswertung der Schadensstatistik nach einem Abgleich der ersten zwei beschriebenen Datensätze (GIS-Datenbank, manuell geführte Excel Liste) sowie nach Rücksprache mit der technischen Betriebsleitung. Die bisher erfassten Schadensereignisse reichen bis in das Jahr 1994 zurück, wodurch auf einen entsprechenden Datensatz von mehr als 20 Jahren zurückgegriffen werden kann.

Auswertung der Schadensdaten allgemein

Je nach Fragestellung können die Schadensdaten unterschiedlich ausgewertet werden. Hierbei kann unter anderem eine Unterscheidung nach Werkstoffgruppen, Nennweiten, Schadensart oder Schadensursachen erfolgen.

Zur spezifischen Auswertung wird i.d.R. eine Schadensrate gebildet, wie im Ansatz nach DVGW W 402. Es wird unterschieden zwischen „Allgemeiner Schadensrate“ (jährliche Anzahl der Schäden je km Rohrleitung) vgl. hierzu auch die Kennzahl Leitungsschäden (Nr. 8 bei der jedoch offiziell auch Fremdeinwirkungen mit einbezogen werden) und „Alters- und werkstoffspezifischer Schadensrate“. Im zweiten Ansatz können zum einen die Schadensereignisse bezogen auf die Werkstoffgruppen (jährliche Anzahl der Schäden je Rohrwerkstoff (Gruppe) mit Gruppenleitungslänge) und zum anderen die Schäden bezogen auf Rohrlungsdurchmesser (jährliche Anzahl der Schäden je Rohrwerkstoff und Nennweitenbereich (Gruppe) mit Gruppenleitungslänge) betrachtet werden (DVGW W 402 (A), 09/2010, S. 18).

Zur Beurteilung der Werkstoffgruppen ist es im Falle einer Erneuerungsplanung dringend empfohlen, den Ansatz der alters- und werkstoffspezifischen Auswertung zu verwenden. (SORGE ET AL., 2012, S. 130) Bezogen auf die wesentlich geringeren Ereignisse von Schäden bei Fernwasserversorgern ist diese Beurteilung nur bedingt realisierbar. (Sorge, 2016)

Die nachfolgend beschriebenen Abschnitte gehen auf die Bildung der Schadensrate bezogen auf die Versorgungsbereiche und die Rohrleitungsabschnitte ein. Zur Bewertung der Werkstoffgruppen bzw. ihrer technischen Nutzungsdauer wird ebenfalls eine altersbezogene Schadensrate gebildet.

Bewertung

Für die Bewertung der jährlichen Schadensrate sind im DVGW W 400-3 Richtwerte angegeben (siehe Tabelle 16). Die Leitungen der FWF als Fernversorgungsleitungen fallen in die Kategorie Zubringerleitungen bzw. Leitungen mit besonderer versorgungstechnischer Bedeutung. Sie sind daher mit strengeren Maßstäben (s. Tabelle 16. rechter Teil) zu bewerten, wobei Werte kleiner als 10 Prozent ausgehend von Haupt- und Versorgungsleitungen empfohlen werden. (DVGW W 400-3, 09/2006)

Tabelle 16: Bereiche der Schadensraten (Eigene Darstellung nach DVGW W 400-3, 09/2006)

| Bewertung Bereich | Rohrschadensrate | |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | [Schäden je km und Jahr] | |
| | Haupt- und Versorgungsleitungen | Zubringer- und Fernleitungen |
| Niedrige Schadensrate | $\leq 0,1$ | $\leq 0,01$ |
| Mittlere Schadensrate | $> 0,1 \leq 0,5$ | $> 0,01 \leq 0,05$ |
| Hohe Schadensrate | $> 0,5$ | $> 0,05$ |

Es wird darauf hingewiesen, dass die Bewertung der Schadensraten von Einzelsträngen, Rohrleitungsklassen oder Teilnetzbereichen ggf. einer anderen Bereichseinteilung bedarf, da es zu erheblichen Abweichungen der Durchschnittswerte kommen kann. Für die Bewertung der Materialklassen sowie der Teilnetzbereiche in den Versorgungsbereichen lassen sich zur Orientierung die Bewertungsbereiche der Zubringer- Fernleitungen gut anwenden. Für die Bewertung der einzelnen Leitungsabschnitte wird auf dieser Basis eine abgeänderte Bewertungsskala erstellt (vgl. Kapitel 5.5.4.1).

5.5.3.1 Auswertung nach Versorgungsbereichen

Aus den vorhandenen Schadensstatistiken der FWF werden nach dem Prinzip der Schadensrate, in Anlehnung an die verwendete Kennzahl (vgl. Kapitel 5.4.5), verschiedene Ansätze zur Ermittlung einer Schadensrate pro VB verfolgt. In einem ersten Schritt ließen sich die Schadensereignisse über die Kennung der Bauabschnitte den einzelnen VB zuordnen.

Der vorgegebene Ansatz zur Bildung der Kennzahl beinhaltet die Bildung der Schadensrate des aktuellen Betrachtungszeitraumes bzw. -jahres. Das hieße, dass zur Bewertung der VB nur die Schäden aus dem Jahr 2015 zur Berechnung der Schadensrate berücksichtigt würden.

Der zweite Ansatz betrachtet daher die Schadensdaten über einen längeren Zeitraum, so dass die Schadensentwicklung der letzten Jahre mit entsprechend verfügbaren Daten berücksichtigt werden können. Aus den Aufzeichnungen der Jahre 1994 bis 2015 wird ein Mittelwert der jährlichen Schadensraten gebildet.

Abbildung 28 zeigt nochmals den Vergleich der zwei gemittelten Schadensraten. Ein Unterschied ist v.a. bei den VB zu sehen, in denen Rehabilitationsmaßnahmen in den letzten Jahren durchgeführt wurden. Die Betrachtung der Leitungsschäden an Leitungen in Betrieb ist daher für die aktuelle Fragestellung repräsentativer.

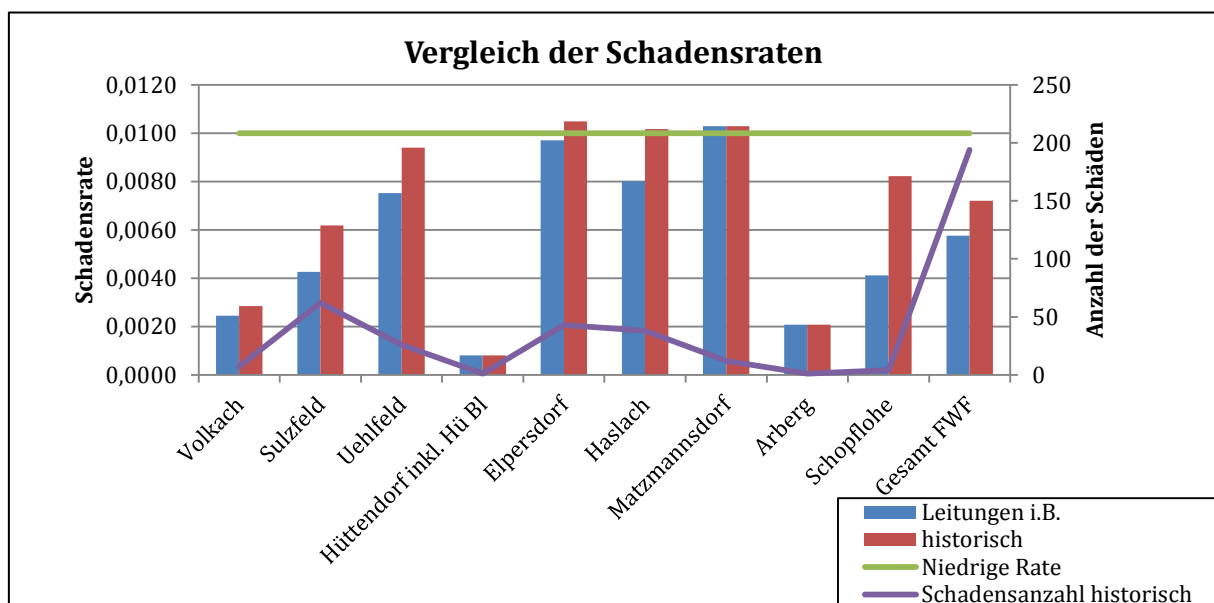


Abbildung 28: Vergleich der Schadensraten (Eigene Darstellung)

Zur Orientierung ist die Grenze zu einer niedrigen Schadensrate mit 0,01 abgebildet.

5.5.3.2 Schadensrate je Bauabschnitt

Ähnlich wie die Bildung der Schadensrate je VB, wird zur Bewertung der Leitungsabschnitte in der Risikoanalyse eine Schadensrate je Bauabschnitt gebildet.

Bei der Einteilung der Schadensraten einzelner Bauabschnitte werden andere Bewertungsklassen gewählt. Hier wird die Schadensrate aus der Schadensanzahl pro Kilometer Leitungsabschnitt des jeweiligen Bauabschnitts gebildet. Der Zeitraum bezieht sich in diesem Fall nicht auf ein Jahr sondern auf 20 Jahre (1995 – 2015), also den Zeitraum in dem belastbare Schadensdaten zur Verfügung stehen. Für die Ermittlung der Leitungslängen und die Anzahl der Schäden werden nur in Betrieb befindliche Abschnitte und ihre Schäden betrachtet. Hieraus ergibt sich folgendes Verhältnis:

$$\frac{\text{Anzahl aller Schäden je BA (i. B.)}}{\text{Leitungslänge des BA (i. B.)}}$$

Des Weiteren werden aufgrund von Fremdeinwirkungen verursachte Schäden nicht berücksichtigt. Es ist zu beachten, dass die Bauabschnitte sehr unterschiedlich lang sind und einige aufgrund von Stilllegungen bereits kürzer als ein Kilometer sein können. Sind diese Abschnitte mit einem Schaden belastet, so kann es bereits bei nur einem Schadensfall zu einer sehr hohen Schadensrate kommen. Wie in DVGW W 400-3 vermerkt, kann es bei der Betrachtung von Einzelsträngen zu größeren Abweichungen vom Mittelwert kommen, weshalb die Richtwerte zur Bewertung der Schadensrate angepasst werden müssen (vgl. Tabelle 21). (DVGW W 400-3, 09/2006, S. 33)

Die Schadensrate bzw. die zugehörige Bewertungszahl wird über die Kennung der Bauabschnitte (z.B. II/6) jedem definierten Bauabschnitt zugeordnet. Die weitere Beschreibung zur Bewertung innerhalb der Risikoanalyse findet sich in Kapitel 5.5.4.

5.5.3.3 Bewertung der Werkstoffgruppen – technische Nutzungsdauer

Statistische Auswertungen von Leitungsschäden zur Beurteilung der Werkstoffgruppen bzw. Generationen werden nach einheitlichen Kriterien gruppiert oder strukturiert. Diese dienen der Ermittlung sogenannter Ausfallfunktionen/ Ausfallraten, auf deren Basis künftige Ausfallwahrscheinlichkeiten, Schadensentwicklungen sowie die technische Nutzungsdauer abgeleitet werden können. Die Untergliederung der Werkstoffgruppen erfolgt in Anlehnung an die festgelegten Generationen (vgl. Kapitels 5.7.3), die ebenfalls der Gliederung nach DVGW W 402-B1 entsprechen. (DVGW W 402 (A), 09/2010, S. 15)

Zur Bewertung der Werkstoffgruppen sowie zur Bestimmung der technischen Nutzungsdauer je Gruppe kann auf allgemeine Statistiken, unterschiedliche Auswertungsverfahren, Erfahrungswerte und Hochrechnungen der Literatur zurückgegriffen werden. Die unterschiedlichen Randbedingungen der WVU können die Nutzungsdauer individuell beeinflussen, weshalb interne Erfahrungswerte ebenso wertvoll sind.

Technische Nutzungsdauer

Die technische Nutzungsdauer einer Rohrleitung beschreibt ihre Begrenzung aus versorgungstechnischen Gründen. Das Ende ist erreicht, wenn die tatsächliche Schadensrate die zulässige Schadensrate dauerhaft überschreitet. (DVGW W 400-3, 09/2006, S. 14) Die zulässige Schadensrate orientiert sich an den Richtwerten der Tabelle 16, in diesem Fall für Fernwasserleitungen. Innerhalb dieses Rahmens, zwischen 0,01 bis 0,05, kann eine zulässige Schadensrate anhand von Erfahrungen auch unternehmensintern festgelegt werden. (Sorge, 2016)

Die technische Nutzungsdauer hängt in erster Linie von den Einwirkungen auf die Leitung ab, d.h. Belastungen, Verlege-, Umgebungs- und Betriebsbedingungen und ebenso von den

Werkstoffeigenschaften der Leitung wie Festigkeit, Bruchverhalten oder Schutzbeschichtungen. Die richtige Leitungswahl für den Einsatzort, die richtige Verlegung der Leitungen sowie die Beanspruchung von innen und außen auf die Rohrleitung sind weitere Faktoren, die Einfluss auf die Nutzungsdauer haben können. (SORGE ET AL., 2012)

Wie in Abbildung 29 dargestellt, sind für die unterschiedlichen Werkstoffgruppen unterschiedliche Bereiche der Nutzungsdauer angegeben. Diese vom Hersteller für Guss-Rohre veröffentlichte Darstellung basiert auf Erfahrungs- und Prognosewerten und soll als erste Orientierung dienen, um die Werkstoffgruppen besser voneinander abgrenzen zu können.

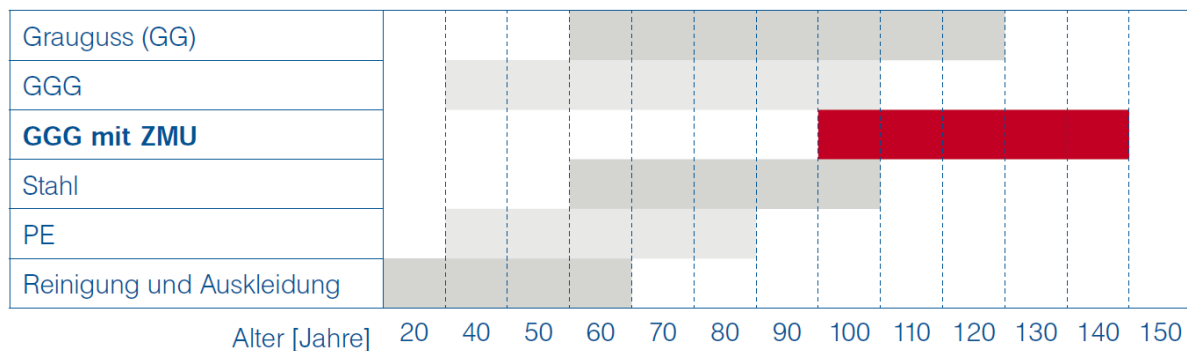


Abbildung 29: Technische Nutzungsdauer nach Werkstoffgruppen (DUKTUS, 2014, S. 40)

Andere Erfahrungswerte aus dem Landesbenchmarking zeigen, dass eine Korrelation zwischen Netzen mit großem GG-Anteil und hohen Schadensraten besteht. Ähnliches gilt für nicht korrosionsgeschützte Stahlleitungen, die bis etwa 1970 verbaut wurden. (RÖDL & PARTNER, 2000, S. 62) Für AZ-Leitungen ist hinsichtlich der Verschleißfestigkeit vom Hersteller eine berechnete Lebensdauer von über 100 Jahren angegeben. (Eternit, 1974, S. 19)

Zur weiteren Bestimmung der technischen Nutzungsdauer bzw. zur Bildung von Ausfallraten und Ausfallfunktionen können unterschiedliche statistische Methoden zur Auswertung der Schadensstatistik angewandt werden. Hierzu gehören u.a. das Kaplan-Maier-Verfahren, die Auswertung mit der Weibull-Funktion sowie die Bildung einer alters- und werkstoffspezifischen Schadensrate.

Generell ist die Anzahl der Schadensereignisse bei FWVU sowie der FWF im Verhältnis zu Ortsnetzen sehr gering. Aus dem verhältnismäßig geringen Datenbestand lassen sich im Rahmen dieser Untersuchung nur bedingt verlässliche Aussagen über das Ausfallverhalten der einzelnen Werkstoffgruppen treffen. Dennoch wird im Nachfolgenden der Ansatz der alters- und werkstoffspezifischen Ausfallrate genutzt, um eine individuelle Bewertung aus der eigenen Schadensstatistik zu generieren.

Alters- und werkstoffspezifische Schadensrate

In Anlehnung an eine Studie des IWW zur Bewertung des Ausfallverhaltens von Rohrleitungen, wird zunächst die alters- und werkstoffspezifische Ausfallrate bzw. Schadensrate wie folgt berechnet, wobei t_s das Alter der Leitung zum Zeitpunkt des Schadensereignisses angibt.

$$\frac{\text{Anzahl der Schäden an Leitungen im Alter } t_s}{\text{Länge der Leitungsbestand mit Alter } \geq t_s} \quad (1)$$

(SORGE ET AL., 2012, S. 27)

Im Vergleich zur alters- und werkstoffspezifischen Schadensrate aus dem Ansatz W 402 die sich aus: (DVGW W 402 (A), 09/2010, S. 18)

$$\frac{\text{Anzahl der Schäden (je Werkstoffgruppe)}}{\text{Gruppenleitungslänge}} \quad (2)$$

bildet, bezieht sich die erstgenannte Rate jeweils auf die Werkstoffgruppe eines bestimmten Alters. Die zwei Ansätze der Schadensraten sind daher nicht identisch, bilden jedoch beide eine Schadensrate. Die erste Gleichung geht genauer auf die altersabhängige Entwicklung der Werkstoffgruppen ein, weshalb sich hiervon eher eine technische Nutzungsdauer ableiten lässt. (SORGE ET AL., 2012, S. 27)

Zur Berechnung der alters- und werkstoffspezifischen Schadensraten bedarf es zunächst der Ermittlung der historischen Bestandslängen je Werkstoffgruppe. Zur Bestimmung der Bestandslängen sind Neuverlegungen, Stilllegungen sowie Leitungsübergaben an z.B. Ortsnetzbetreiber zu berücksichtigen. Wie in Abbildung 30 dargestellt, konnten aus internen Dokumentationen die Entwicklungen der Bestandslängen je Werkstoffgruppe ermittelt werden. Eine Unterscheidung zwischen Duktulguss mit ZM und ZM+ZMU ließ sich aus den gegebenen Datengrundlagen nicht vornehmen, weshalb diese Gruppe hier im Gegensatz zur vorherigen Generationseinteilung zu GGG 2 bzw. GGG ZM zusammengefasst ist.

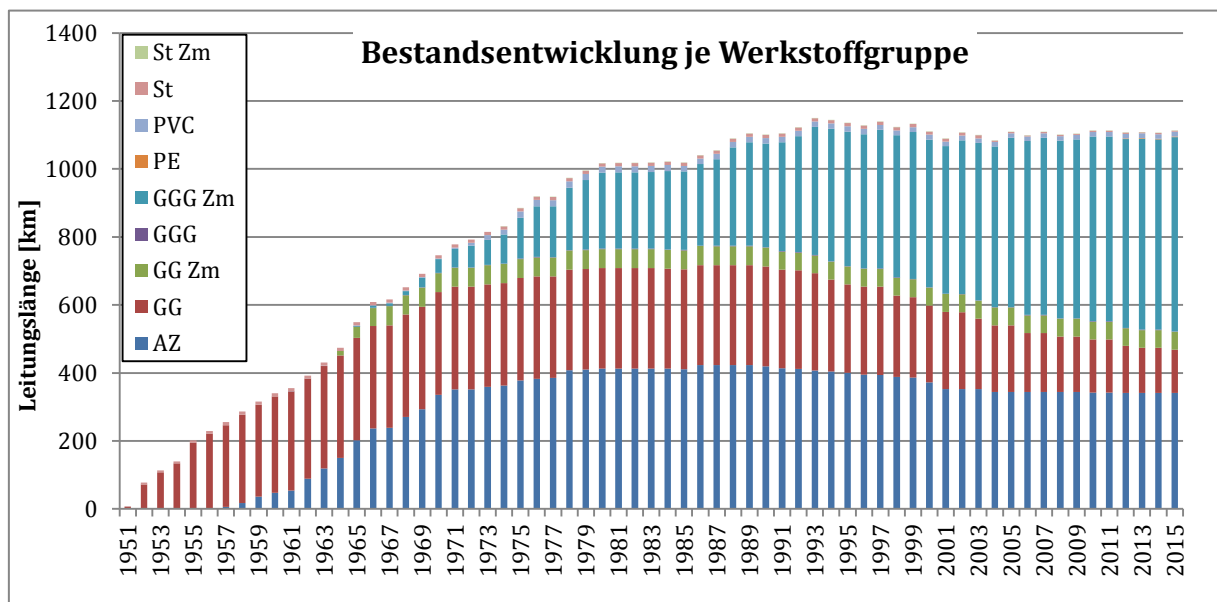


Abbildung 30: Bestandsentwicklung Längen und Werkstoffgruppe (Eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der altersabhängigen, werkstoffspezifischen Schadensraten werden an dieser Stelle ausgewertet, da sie als Grundlage zur weiteren Einteilung und Vergabe der Bewertungskriterien für die Risikoanalyse dienen.

Entsprechend der Bestandslängen liegen nur für einige Werkstoffgruppen ausreichend Daten über einen längeren Zeitraum vor, von denen ein aussagekräftiges Ergebnis zu erwarten ist.

Abbildung 31 zeigt die Berechnung nach dem Ansatz vom technischen Regelwerk W 402 für die Werkstoffgruppen Grauguss 3a und 3b sowie Duktulguss 2 und AZ. Bei den übrigen Werkstoffgruppen, deren Datenlage wesentlich geringer ist, liegen die Schadensraten teilweise weit über eins, weshalb sie in dieser Darstellung nicht mit einbezogen wurden.

Die Abbildung 31 zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen den einzelnen Werkstoffgruppen, wobei v.a. ein klarer Trend bei den Graugussrohren ohne ZM zu erkennen ist. Die Ergebnisse zur Werkstoffgruppe Grauguss 3b mit ZM-Auskleidung basieren auf lediglich 16 Schadensereignissen, wodurch eine klare Aussage nur bedingt möglich ist. Leitungen aus dem

Jahr 1964 (GG ZM) wurden hier nicht berücksichtigt, da nicht genau klar ist, ob es sich um werkseitige oder nachträgliche ZM-Auskleidungen handelt. Die AZ-Leitungen besitzen eine etwas höhere Schadensrate als die Duktiguss-Leitungen (GGG 2), beide weisen jedoch keinen signifikanten Trend auf. Die Duktiguss-Leitungen, die hier für die Generation 2a und 2b stehen, haben die geringste Schadensrate.

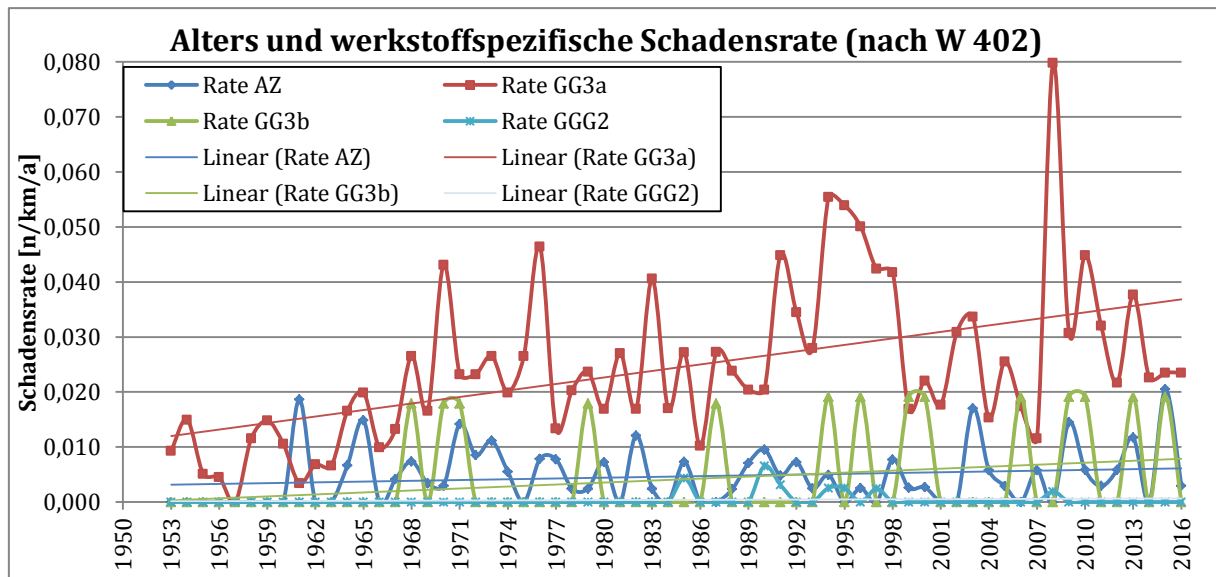


Abbildung 31: Alters- und werkstoffspezifische Schadensrate (Gl. 2) (Eigene Darstellung)

Die nachfolgenden Darstellungen zeigen die Ergebnisse nach dem Berechnungsansatz aus Formel eins, also der direkten altersbezogenen Schadensrate für die jeweilige Werkstoffgruppe, die sich ebenso zur annähernden Bestimmung der technischen Nutzungsdauer eignet.

Zur Bewertung der technischen Nutzungsdauer wird eine zulässige Schadensrate von 0,02 [n/km] festgelegt. Sie entspricht dem doppelten Wert einer niedrigen Schadensrate nach DVGW und wird in Anlehnung an Erfahrungswerte als unternehmensinterne Grenze festgelegt.

Die Ergebnisse der Werkstoffgruppe Grauguss 3a ohne Zementmörtelauskleidung umfassen als älteste Bestandsleitungen ebenfalls die meisten Schadensdaten. Der vergleichsweise höhere Datenbestand verleiht diesem daher eine bessere Aussagekraft. Wie in Abbildung 32 zu erkennen ist, sind in allen Altersbereichen Schäden zu verzeichnen. Insgesamt ist ein Trend bei zunehmendem Alter zu erkennen. Die festgelegte zulässige Schadensrate wird nach ca. 46 Jahren erreicht, womit bereits ein großer Teil des Leitungsbestands die technische Nutzungsdauer erreicht hätte.

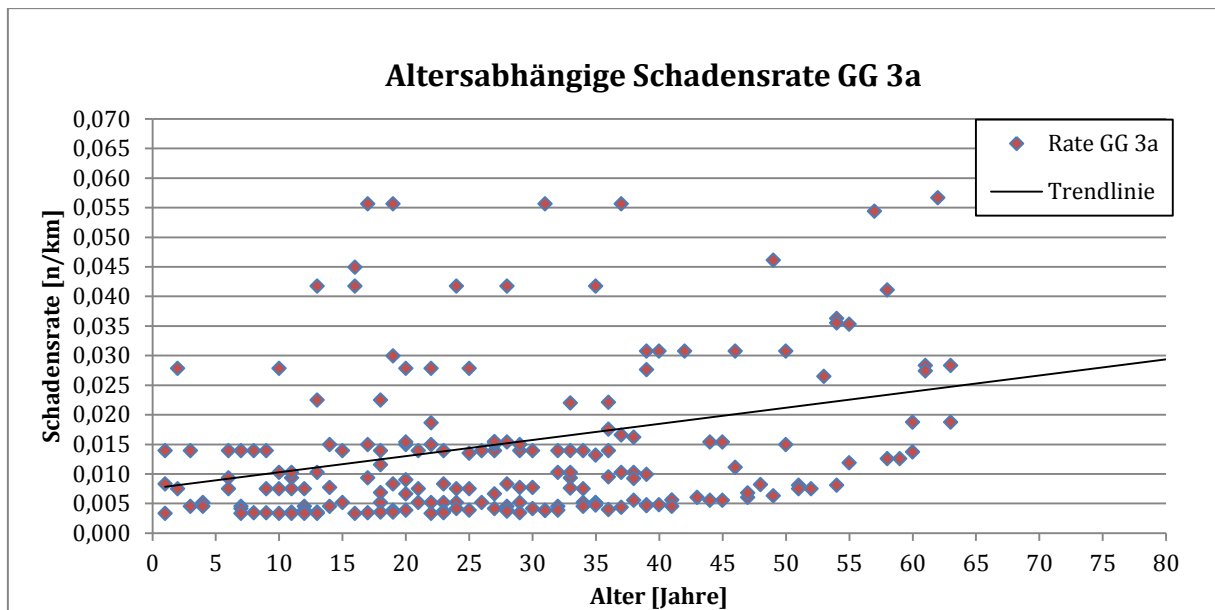


Abbildung 32: Altersabhängige Schadensrate GG 3a (Eigene Darstellung)

Ab dem Überschreiten der festgelegten „zulässigen Schadensrate“ nach ca. 46 Jahren ist ein klarer Anstieg zu erkennen. Dieser Zeitraum korreliert ebenfalls mit den Anfängen der ersten Rehabilitationsmaßnahmen, die zu diesem Zeitpunkt als notwendig erachtet wurden.

Wie zuvor vermerkt lässt sich die Werkstoffgruppe GG 3b nur auf Grundlagen eines geringen Datenbestands bewerten. Die insgesamt geringere Anzahl sowie die tatsächliche Rate, die unter einem Wert von 0,02 bleibt zeigt, dass diese Werkstoffgruppe gegenüber dem Grauguss ohne ZM eine geringere Ausfallrate hat. Ebenso ist kein Trend bzw. eine Zunahme mit steigendem Alter zu erkennen. Die Ereignisse bei 14 und 22 Jahren beziehen sich auf kürzere Baulängen aus dem Jahr 1965, weshalb die Schadensrate erhöht ist.

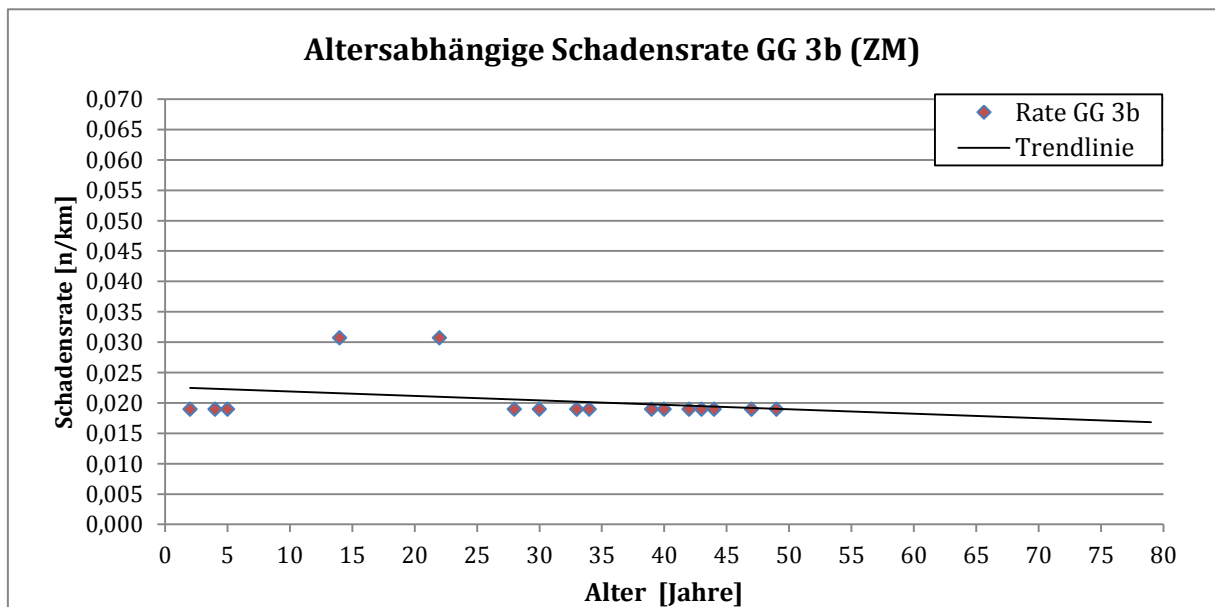


Abbildung 33: Altersabhängige Schadensrate GG 3b (Eigene Darstellung)

Diese Werkstoffgruppe gilt es in den kommenden Jahren weiter zu beobachten, um die Abschätzung präzisieren zu können.

Aufgrund zu geringer Eingangsdaten wird auf eine Bewertung der Werkstoffgruppe **Duktil-Guss ohne ZM** verzichtet. Der kurze Leitungsabschnitt aus Duktilguss ohne ZM (GGG 1) besitzt eine hohe Schadensrate. Aufgrund der geringen Leitungslängen ist eine eigenständige Auswertung nicht repräsentativ. Die Erfahrungswerte zeigen jedoch, dass die GGG ohne ZM eine wesentlich kürzere technische Nutzungsdauer gegenüber GGG mit ZM aufweist und somit in die Gruppe mit einer höheren Ausfallwahrscheinlichkeit eingeordnet werden kann.

Die Auswertung des Duktilgusses wird auch hier nur in der Werkstoffgruppe **GGG 2 (mit ZM)** durchgeführt. Abbildung 34 zeigt, dass die Werkstoffgruppe wesentlich jünger, die Schadensrate insgesamt geringer ist und die Ergebnisse eine geringere Streuung haben. Eine prognostizierte Überschneidung von Trendlinie und der festgelegten zulässigen Schadensrate ist voraussichtlich bei einem Alter von ca. 90 Jahren zu erwarten. Der materialtechnische Zustand ist daher aktuell als sehr gut zu bewerten. Eine getrennte Auswertung zwischen den definierten Werkstoffgruppen GGG 2a und GGG 2b war aufgrund der Datengrundlagen nicht möglich, würde die Aussagekraft allerdings nochmals erhöhen.

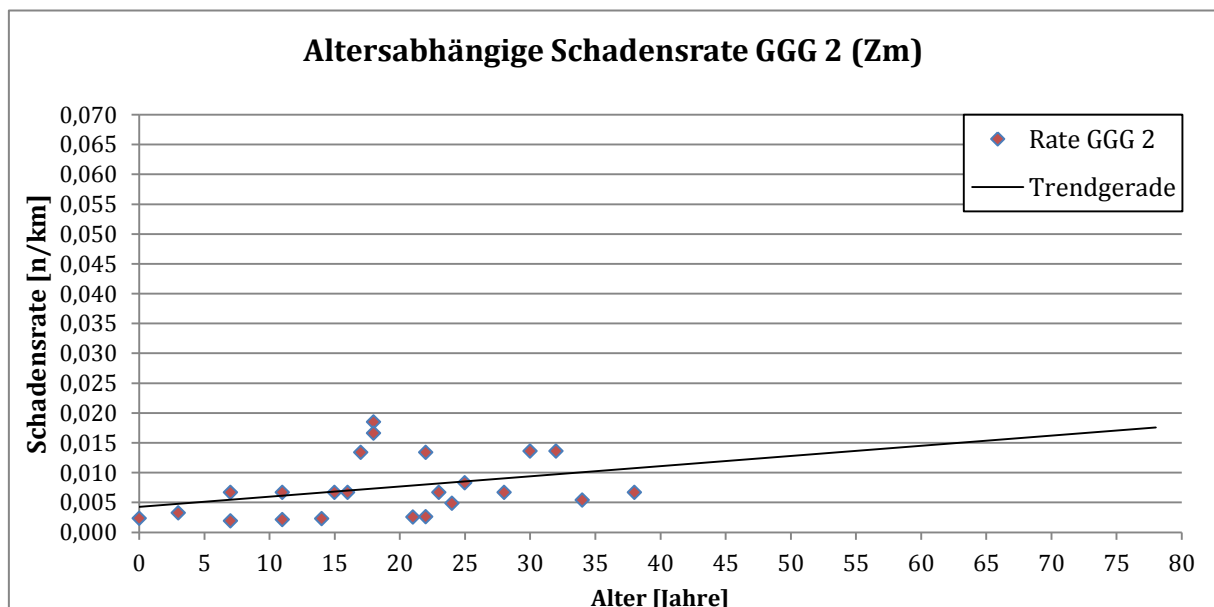


Abbildung 34: Altersabhängige Schadensrate GGG 2 (Eigene Darstellung)

Bei den **AZ-Leitungen** hat sich gezeigt, dass aufgrund von unterschiedlichen Schadensursachen eine sehr hohe Schadenszahl in den ersten 1-4 Jahren aufgetreten ist. Ein vom Hersteller beschriebenes Phänomen, dass AZ-Leitungen als Zement-Produkte mit zunehmendem Alter durch Nachhärtung ihre Festigkeit steigern, könnte hiermit in Verbindung stehen. (Eternit, 1974, S. 14) Zur besseren Untersuchung eines Trends werden daher die Schadensereignisse ab einem erreichten Leitungsalter von vier Jahren erneut ausgewertet. Abbildung 35 zeigt bis auf einige Extremwerte eine geringe Streuung der altersbezogenen Schadensraten. Gegenüber der Auswertung aller Ereignisse erfolgt die Überschneidung mit der festgelegten zulässigen Schadensrate von 0,02 jedoch bereits mit ca. 70 Jahren. Die erste Auswertung zeigt eine Überschneidung bei ca. 80 Jahren, weshalb hier von einer aktuellen technischen Nutzungsdauer zwischen 70-80 Jahren ausgegangen werden kann. Die Werkstoffgruppe kann aus materialtechnischer Sicht besser als GG 3a im Bereich der GGG 2a eingestuft werden.

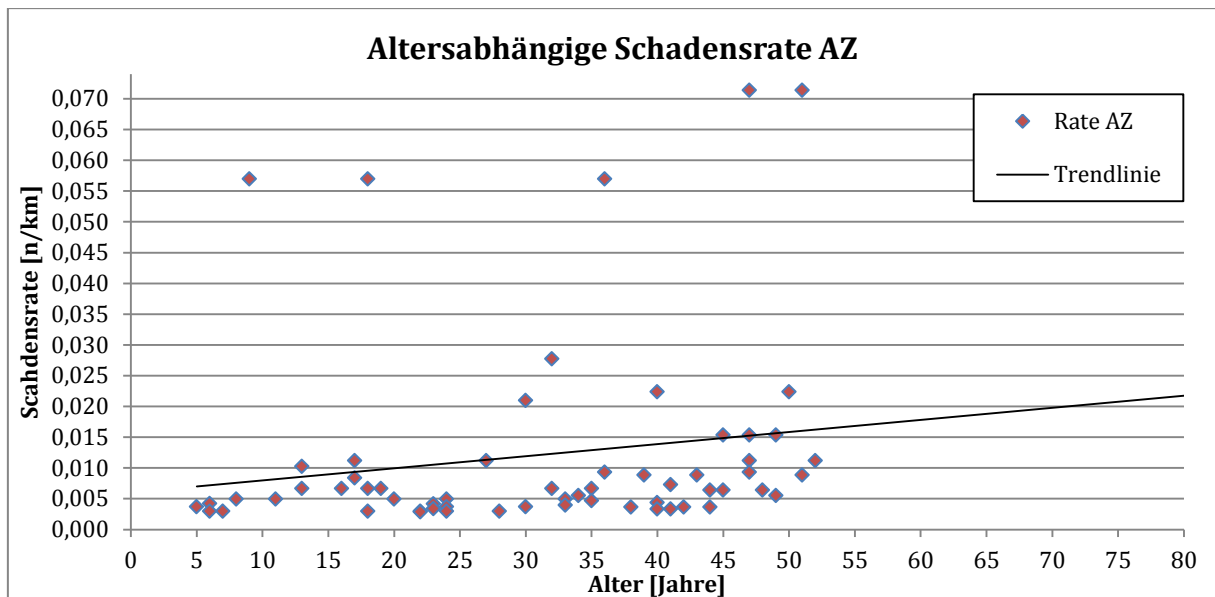


Abbildung 35: Altersabhängige Schadensrate AZ (Eigene Darstellung)

Für die Ergebnisse der Werkstoffgruppe Stahl besteht aufgrund der geringen Leitungslängen im FWF-Leitungsbestand nur eine eingeschränkte Aussagefähigkeit. Die ermittelten Werte in Abbildung 36 liegen in einer 10er-Potenz über den anderen Auswertungsergebnissen, zeigen jedoch auch hier einen klaren Trend auf. Für eine Aussage über die genaue Nutzungsdauer ist die Datengrundlage unzureichend. Deutlich zu erkennen ist jedoch, dass alle Werte über der festgelegten zulässigen Rate liegen und die Stahl-Leitungen der FWF sich damit in keinem guten materialtechnischen Zustand befinden.

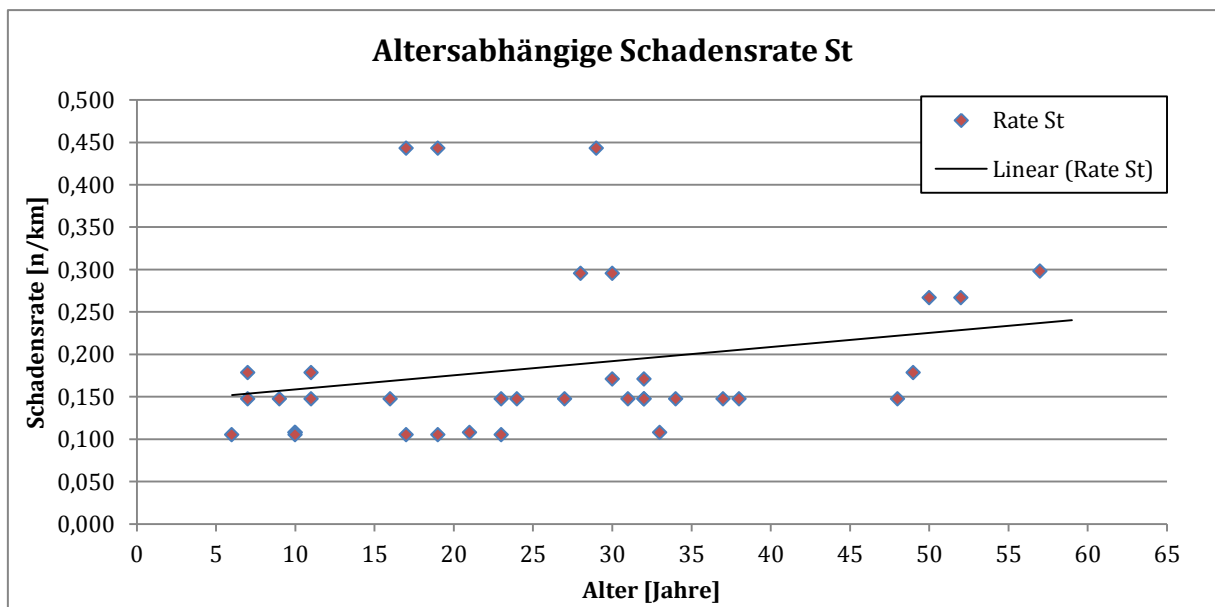


Abbildung 36: Altersabhängige Schadensrate ST (Eigene Darstellung)

Auf den geringen **PVC-Leitungsabschnitten** gab es generell nur sehr wenige Schadensfälle. Die Aussage der altersbezogenen Schadensrate ist daher sehr ungenau und wird hier nicht grafisch ausgewertet. Zudem sind bis auf wenige Schadensfälle alle Ereignisse einem einzigen Leitungsabschnitt zuzuordnen, der bereits nicht mehr dem FWF-Bestand angehört. Wird dieser Abschnitt nicht berücksichtigt ergibt sich dennoch eine mittlere Schadensrate von ca. 0,075 Schäden pro Kilometer, die deutlich über einer hohen Schadensrate von 0,05 liegt. Die in den

70er Jahren im FWF Leitungssystem verlegten PVC Leitungen sind anhand des Ergebnisses und auf Grundlage von Erfahrungswerten in eine untere Qualitätsklasse einzustufen.

5.5.4 Definition und Anwendung der Kriterien zur Risikoanalyse

Für die zuvor in Kapitel 5.5.1 festgelegten Kriterien werden nun im Nachfolgenden Bewertungszahlen auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse über Werkstoffgruppen und der Schadensstatistik, festgelegt. Für die Definition der Kriterien zur Eintrittswahrscheinlichkeit und zum Ausmaß des Schadens fließen ebenfalls Elemente der Wasserbedarfsprognose mit ein.

Die Übertragung dieser Punkte auf den tatsächlichen Leitungsdatenbestand erfolgt größtenteils direkt im GIS. Das Vorgehen wird nachfolgend prinzipiell erläutert. Auf eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Schritte im GIS wird hier nicht eingegangen.

5.5.4.1 Kriterien zur Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Bewertungskriterien zur Eintrittswahrscheinlichkeit: Werkstoffgruppe, Alter der Leitung sowie spezifische Schadensrate lassen sich auf Basis der Stammdaten, Generationsdefinition und Schadensstatistik einteilen.

Werkstoffgruppe

Ausgehend von den Ergebnissen der Schadensstatistik können den Werkstoffgruppen für die Risikobewertung vereinfacht Bewertungszahlen zugeordnet werden. Je Gruppe soll am Ende eine Bewertungszahl zwischen eins und drei vergeben werden, wobei eins eine Gruppe beschreibt, deren Schadeneintrittswahrscheinlichkeit sehr gering ist und drei eine Gruppe mit hoher Schadeneintrittswahrscheinlichkeit.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Werkstoffgruppe der Graugussrohre ohne ZM aktuell im schlechtesten materialtechnischen Zustand ist und somit die Bewertung drei erhält. Anhand von Erfahrungswerten und der berechneten Schadensrate kann der materialtechnische Zustand der Werkstoffgruppen PVC und ST innerhalb des FWF-Leitungsbestands ebenfalls als mangelhaft eingestuft werden. Die Graugussleitungen mit ZM, der Duktulguss sowie die AZ-Leitungen haben eine deutlich geringere Schadensrate, weshalb von einem besseren materialtechnischen Zustand auszugehen ist. Duktulguss-Leitungen mit ZM und ZMU sowie PE-Leitungen weisen nahezu keine Schäden auf und sind daher einer weiteren Kategorie zuzuordnen. Tabelle 19 zeigt die Einteilung der Werkstoffgruppen.

Zur Verknüpfung des Bewertungsmaßstabes mit dem Leitungsbestand erfolgt die Vergabe der Bewertungspunkte in zwei Schritten. Zunächst werden Punkte bezüglich der reinen Werkstoffinformation vergeben (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Bewertungsmaßstab Werkstoffe (Eigene Darstellung)

| Werkstoff | |
|-----------|-------|
| Kriterium | Werte |
| GG 3 | 3 |
| GGG | 3 |
| AZ | 2 |
| ST (FWF) | 3 |
| PVC | 3 |
| PE | 1 |

In einem zweiten Schritt werden die Informationen zum Korrosionsschutz abgefragt, welche die weitere Einteilung der Werkstoffgruppe bestimmen. Wie auch in Kapitel 5.5.2.2 beschrieben,

bewirkt der jeweilige Korrosionsschutz, hier ZM-Auskleidung oder ZM-Umhüllung, eine Aufwertung der eisenhaltigen Werkstoffgruppen wie beim Gusseisen. Je nach Korrosionsschutzmaßnahme werden daher negative Punkte vergeben, wie in Tabelle 18 zu sehen.

Tabelle 18: Bewertungsmaßstab Korrosionsschutz (Eigene Darstellung)

| Korrosionsschutz für Guss-Rohre | |
|--|--------------|
| Kriterium | Werte |
| ZMU | -1 |
| ZM | -1 |
| kein | 0 |

Korrosionsschutzbewertungen für Stahlleitungen werden hier nicht vorgenommen, da Korrosionsschutz wie z.B. KKS bei den erdverlegten Stahlleitungen der FWF aktuell nicht vorkommen. Aufgrund weniger Informationen zu den Stahlleitungen in der FWF wird davon ausgegangen, dass die Leitungen entsprechend ihrem Verlegejahr nur einen sehr einfachen Korrosionsschutz aufweisen, weshalb hier keine gesonderte Bewertung oder Unterscheidung vorgenommen wird. Die Bewertung der Stahlleitung in der FWF ist daher nicht mit Stahlleitungen des heutigen Standards vergleichbar.

Die Gesamtbewertung der Werkstoffgruppen wie in Tabelle 19 dargestellt ergibt sich aus der Addition der Werkstoff- und der entsprechenden Korrosionsschutzbewertung für Guss-Rohre. Diese Bewertung entspricht den Kategorien der zuvor festgelegten Werkstoffgruppen bzw. Generationen.

Tabelle 19: Bewertungsmaßstab Werkstoffgruppe (Eigene Darstellung)

| Werkstoffgruppe | Werte | Beschreibung Eintrittswahrscheinlich |
|------------------------|--------------|---|
| GG 3a | 3 | Hohe |
| GG 3b | 2 | Mittel |
| GGG 1 | 3 | Hoch |
| GGG 2a | 2 | Mittel |
| GGG 2b | 1 | Gering |
| AZ | 2 | Mittel |
| ST (FWF) | 3 | Hoch |
| PVC | 3 | Hoch |
| PE | 1 | Gering |

Sollten Daten zur Materialart oder dem Korrosionsschutz aktualisiert werden, kann die Wertevergabe zum Material und Korrosionsschutz über eine „WENN-Abfrage“ auf Basis der Stammdaten erneut generiert werden. Im Falle dessen, dass eine Werkstoffgruppe aufgrund neuer Schadensfälle einer anderen Bewertungsklasse zugeordnet werden soll, kann die Punktevergabe entsprechend angepasst werden. Die Punktevergabe für das Kriterium Werkstoffgruppe kann sowohl in Excel als auch im GIS erfolgen.

Alter

Ein weiterer Punkt ist das generelle Alter der Leitungen bzw. der Verlegungszeitraum. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Herstellungs- und Verlegequalität mit fortschreitender Erfahrung und Technik zunimmt und gleichzeitig die Qualitätskontrollen strenger sind, ist den älteren Materialtypen generell ein potentiell höheres Ausfallrisiko zuzuschreiben. Hinzu kommen allgemeine Alterungserscheinungen, die ebenfalls durch die technische Nutzungsdauer abgebildet werden.

Bei der Auswertung der alters- und werkstoffspezifischen Schadensraten hat sich gezeigt, dass v.a. bei den Werkstoffgruppen GG 3a, GGG 2 sowie AZ eine Korrelation zwischen Schadenszunahme und höherem Alter besteht.

Zum Erreichen einer Differenzierung der verschiedenen Altersbereiche älterer Leitungen zeigt die Tabelle 20 die Wertevergabe für die definierten Bereiche. Der untere Grenzwert soll die Leitungen abbilden, die über dem mittleren Durchschnittsalter des FWF Leitungsbestands liegen (ca. 42 Jahre) (vgl. Kennzahlenauswertung). Die Altersbestimmung bezieht sich auf das Jahr 2016. Leitungen älter als 60 Jahre entsprechen daher den Leitungen aus den ersten 5 Baujahren der FWF ab der Unternehmensgründung von 1951. Die weitere Einteilung erfolgt ebenfalls in 5-Jahresschritten.

Tabelle 20: Bewertung der Altersbereiche (Eigene Darstellung)

| Altersbereich | Werte | Aktuelle Jahresbereiche |
|----------------|-------|-------------------------|
| ≥ 60 | 4 | < 1956 |
| $< 60 \geq 55$ | 3 | 1957 – 1960 |
| $< 55 \geq 50$ | 2 | 1961 – 1966 |
| $< 50 \geq 45$ | 1 | 1967 – 1971 |
| < 45 | 0 | 1971 |

Bei einer Durchführung der Bewertung zu einem späteren Zeitpunkt ist zu beachten, dass die Wertevergabe entweder bezüglich der Altersangaben oder der Jahreszahlen angepasst und ggf. erneut durchgeführt wird. Die Punktwerte kann ebenfalls über eine entsprechende Funktion in Excel oder im GIS-System direkt erfolgen.

Spezifische Schadensrate je Bauabschnitt

Wie bereits im Kapitel der Schadensstatistik beschrieben, wird zur Bewertung eine spezifische bauabschnittsbezogene Schadensrate berechnet, welche den Abschnitten zugeordnet wird.

Für die Vergabe der Bewertungspunkte müssen zunächst die Schadensraten in neu definierte Klassen eingeteilt werden. Abgeleitet von den zuvor angegebenen Schadensbereichen und unter Berücksichtigung des größeren Zeitraums von 20 Jahren, ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle 21 dargestellten Schadensratenbereiche (links). Die Grenzwerte entsprechen den doppelten Werten der Grenzwerte von Haupt- und Versorgungsleitungen nach DVGW W 400-3. Je Bereich werden wiederum Punkte vergeben, die in die Bewertung einfließen.

Tabelle 21: Einteilung und Werte der Schadensrate für die Bauabschnitte (Eigene Darstellung)

| Klassen Schadensrate [n/km] | Werte (ID) | Bereich |
|-----------------------------|------------|---------------|
| 0 | 0 | Keine Schäden |
| <0,5 | 1 | Niedrige Rate |
| > 0,5 < 1 | 2 | Mittlere Rate |
| >1 | 3 | Hohe Rate |

Die Verknüpfung der generierten Schadensrate bzw. der Schadensraten ID zu jedem Leitungsabschnitt erfolgt über die Beziehung der Baulose (Bezeichnung im GIS-Datenbestand: „freies Kennzeichen“). Die Schadensstatistik wird auf Ebene der Baulose geführt, weshalb die Schadensrate auf das gesamte Baulos übertragen wird. Anschließend kann die Bewertungszahl für die Risikoberechnung genutzt werden.

Die nachfolgende Abbildung 37 zeigt einen Ausschnitt mit der Bewertung der baulosspezifischen Schadensrate. Die farbliche Untergliederung von rot, orange, gelb bis blau spiegelt die Wertebereiche der Schadensrate wider.

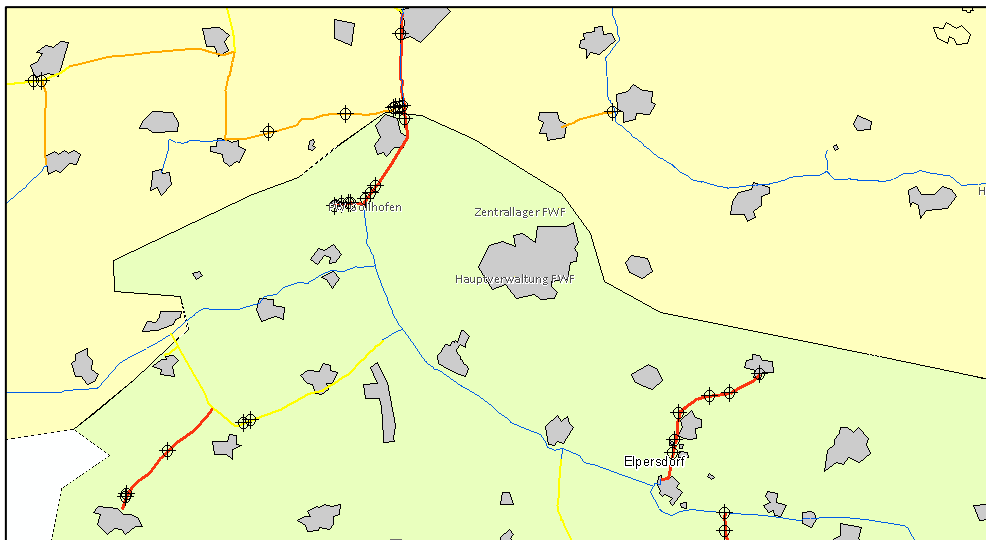


Abbildung 37: Beispiel: baulosspezifische Schadensrate (Eigene Darstellung)

5.5.4.2 Kriterien zum Ausmaß des Schadens

Die Vergabe von Bewertungszahlen der Kriterien für das Ausmaß des Schadens wie Abgabemenge, Verbundleitung, Ersatzversorgung, Leitungsquerschnitt sowie der Abstand zu Bauwerken, basiert auf verschiedenen Eingangsparametern. Hierzu gehören ebenso die Stammdaten der Leitungen, Daten zu Wasserabgaben aus der Wasserbedarfsprognose wie versorgungstechnische, lagebezogene Informationen.

Abgabemenge

Das generelle Ausmaß des Schadens steigt i.d.R. mit der Anzahl der betroffenen Personen sowie mit den verursachten Kosten.

Aufgrund der Tatsache, dass die FWF das Wasser i.d.R. nicht direkt an Endverbraucher liefert, sind in den vorliegenden Daten keine Angaben über die Bevölkerungszahl pro Abgabeschacht vorhanden. Es wird daher versucht, über die Wasserabgabemenge an den AGS, eine Korrelation zum Ausmaß des Schadens herzustellen. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung ist für das Rohrleitungssystem keine aktuelle Rohrnetzberechnung verfügbar. Die Kategorisierung des Wasserdurchflusses wird daher mit Hilfe der Abgabemenge je Abgabestellen auf die Leitung übertragen.

Über die Abgabemenge je AGS (Größe des Abnehmers) und Anzahl an AGS, die an einen Leitungsabschnitt gebunden sind, soll definiert werden, ob diesem Leitungsabschnitt eine erhöhte, versorgungstechnische Relevanz zukommt. Es ist davon auszugehen, dass je Abgabestelle ein kleiner bis mittlerer Ort angeschlossen ist. In Ausnahmefällen ist ein Abgabeschacht auch nur einem Aussiedlerhof zugeteilt. Ein größerer Ort bzw. eine Stadt hat jedoch mindestens zwei oder mehrere AGS, so dass durch die erhöhte Anzahl der AGS auch eine größere Gewichtung stattfindet. Mit steigender Anzahl der Abnehmer steigt so zugleich auch die Abgabemenge.

Die Struktur der FWF ist so aufgebaut, dass die Menge pro AGS sehr unterschiedlich ist. Die AGS werden daher in drei Kategorien eingeteilt. Diese Einteilung wird nach Erfahrungswerten und Abnehmergrößen vorgenommen, wobei die Abgabemenge der großen Abnehmer in etwa der aller kleinen entspricht (siehe Abbildung 38). Die FWM als größter Abnehmer mit über einer Mio. Kubikmeter pro Jahr, nimmt eine Sonderstellung ein und ist in eine eigene Kategorie

eingeteilt. Eine weitere Kategorie beinhaltet acht AGS mit einer jährlichen Abnahme über 200.000 m³, was ca. 15 Prozent der Gesamtmenge ausmacht. Hierbei handelt es sich u.a. um die größeren Städte Rothenburg o.d.T., Bad-Windsheim und andere. Eine weitere Unterteilung erfolgt für Abnehmer zwischen kleiner als 200.000 und größer als 100.000 m³ pro Jahr und AGS. Diese Kategorie beinhaltet 18 AGS und umfasst ebenfalls ca. 15 Prozent der Gesamtwassermengen. Die große Anzahl kleinerer Abnehmer unter 100.000 m³ pro Jahr entspricht etwa 60 Prozent des Gesamtwasseranteils und beinhaltet die restlichen AGS.

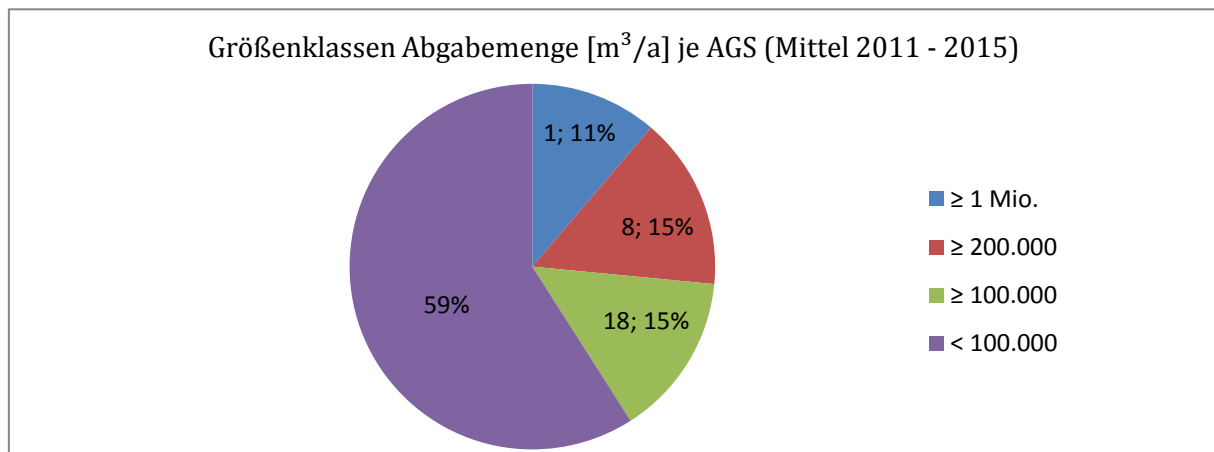


Abbildung 38: Größenklassen Abgabemengen in Prozent und Anzahl AGS (Eigene Darstellung)

Anhand dieser Einteilung kann nun festgelegt werden, ob an den jeweiligen Leitungsabschnitten ein großer Abnehmer oder mehrere kleine Abnehmer angeschlossen sind. In der nachfolgenden Tabelle 22 sind die Kategorien, Bedingungen und Wertevergaben dargestellt. Sobald das Kriterium „großer Abnehmer“ oder „viele Abnehmer“ für einen Leitungsabschnitt erfüllt ist, wird dem Abschnitt die Bewertung eins gegeben. Das Kriterium „viele Abnehmer“ ist erreicht, sobald drei oder mehrere kleine AGS, zwei mittlere oder mehr AGS an die Leitung angeschlossen sind.

Tabelle 22: Einteilung der Abgabemenge in Kategorien (Eigene Darstellung)

| Jährlich gemittelte Abgabemenge [m ³ /a] | Anzahl der AGS | ID | Größe |
|---|----------------|----|--------|
| ≥ 1.000.000 | ≥ 1 | 1 | FWM |
| < 1.000.000 ≥ 200.000 | ≥ 1 | 1 | Groß |
| < 200.000 ≥ 100.000 | ≥ 2 | 1 | Mittel |
| < 100.000 | ≥ 3 | 1 | Klein |
| < 100.000 | < 3 | 0 | Klein |

Die Übertragung der Bewertungspunkte erfolgt in einer GIS-Analyse, wobei die AGS farblich und optisch nach den Größenklassen definiert und den jeweiligen Leitungen zugeordnet sind. Wie in Abbildung 39 dargestellt, können den Leitungsabschnitten über die optische Darstellung die Kriterien zugewiesen werden.

Die Kategorisierung wird vom Ende einer Stichleitung ab der ersten AGS begonnen, bis das Kriterium von Menge und Anzahl erfüllt ist, z.B. drei AGS der Kategorie klein (vgl. Abbildung 39, rechts). Bei Ringleitungen zählen alle AGS die dem Leitungsring zugeordnet sind, d.h. das Kriterium wird i.d.R. für alle Leitungsringe erfüllt.

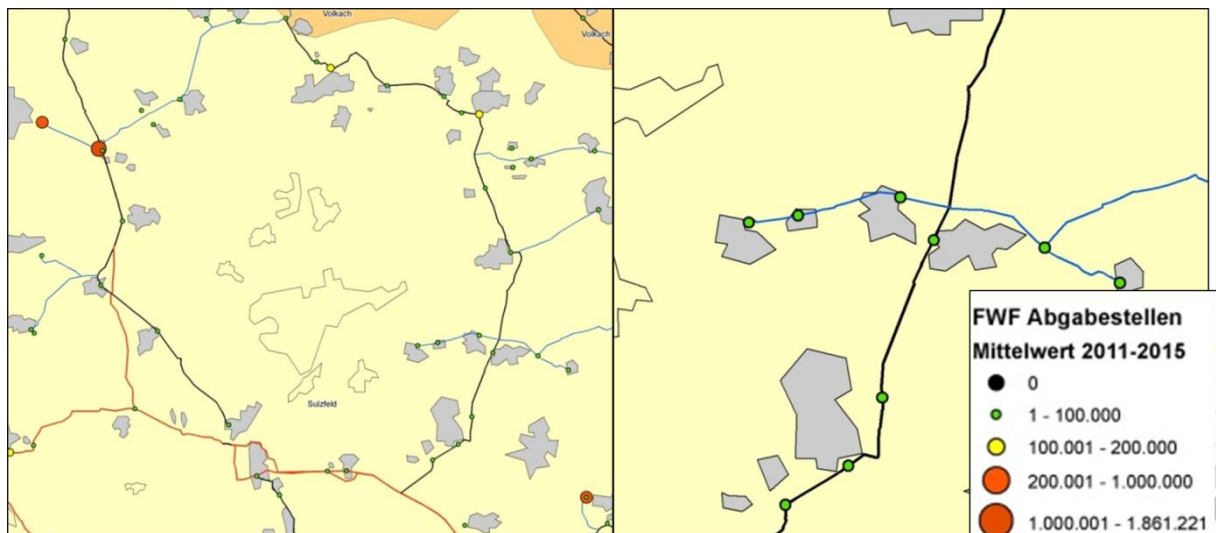


Abbildung 39: Zuordnung Abgabemenge zu den Leitungen (Eigene Darstellung)

Auf diese Weise kann jeder Leitungsabschnitt bezüglich der Abgabemenge bewertet werden. Das Bewertungskriterium ist Teil der Gesamtbewertung für das Ausmaß des Schadens

Redundanz – Ersatzversorgung

Ein weiterer Faktor für die Versorgungssicherheit bzw. das Ausmaß eines Rohrleitungsschadens ist das n-1-Prinzip, also das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein einer leitungsgebundenen Ersatzversorgungsmöglichkeit. Das Kürzel n beschreibt hierbei die Zahl der Versorgungsmöglichkeiten. Ein n-1-Prinzip ist gegeben, wenn n um eins verringert werden kann, ohne dass die Versorgung unterbrochen wird. Sind eine oder mehrere Versorgungsmöglichkeiten gegeben, wird von einer Redundanz oder redundanten Leitung gesprochen. (DVGW W 400-1 (A), 02/2015, S. 24) Ist keine Redundanz für einen Abnehmer vorhanden, so ist lediglich das 1-1-Prinzip gegeben. Bei einem Ausfall einer solchen Leitung erhöht sich damit das Schadensausmaß.

In einer zweiten GIS-Analyse wird das Leitungssystem dahingehend analysiert, ob beim Ausfall des jeweiligen Abschnitts eine Ersatzversorgung (Redundanz) vorhanden ist oder nicht. Ist keine Ersatzversorgung möglich erfolgt gemäß Tabelle 23 eine Bewertung mit eins.

Tabelle 23: Bewertung zur Redundanz - Ersatzversorgung (Eigene Darstellung)

| Kriterium | Wert | Beschreibung |
|-----------|------|--------------------------|
| Ja | 0 | Ersatzversorgung möglich |
| Nein | 1 | Einzige Leitung zur AGS |

Anhand dieser Ja/Nein Abfrage werden alle Leitungsabschnitte im GIS manuell ausgewählt und bewertet. Wie in Abbildung 39 zu erkennen, besitzen Stichleitungen (Bild rechts) i.d.R. keine Redundanz, wohingegen bei Ringleitungen (Bild links) die AGS von zwei Seiten versorgt werden können. Verbundleitungen zu anderen VB können in diesem Fall ebenfalls als redundante Leitungen betrachtet werden, da im Notfall AGS auch aus benachbarten VB versorgt werden. In manchen Fällen befindet sich am Ende einer Stichleitung ein HB, so dass im Fall einer Leitungstrennung auf dieser Stichleitung eine einseitige Ersatzversorgung vom HB geleistet werden kann. Die Vergabe dieses Bewertungskriterium erfolgte ausschließlich auf GIS-Ebene, d.h. diese Information lässt sich aktuell nicht vom Basisdatensatz ableiten.

Verbundleitung

Wie in Kapitel 5.5.2.1 beschrieben, kann den Leitungen innerhalb eines Verteilungssystems mit ihren Aufgaben eine unterschiedliche Relevanz zugesprochen werden. Innerhalb der Fernversorgungsleitungen können unternehmensintern weitere Unterscheidungen versorgungstechnischer Relevanz für das Gesamtsystem getroffen werden.

Im Verteilungssystem der FWF mit den neun VB sind sogenannte Verbundleitungen definiert, die eine versorgungstechnische Sonderstellung einnehmen. Verbundleitungen stellen einen Verbund zwischen den benachbarten FWVU sowie zwischen den VB der FWF dar. Hierbei werden Leitungen definiert, die im Normalbetrieb als Hauptleitungen benachbarten FWVU dienen, wie z.B. die Beileitung von der WFW zum WW Sulzfeld sowie Leitungen zwischen zwei VB im Fall einer außerplanmäßigen Versorgung (vgl. hierzu auch die Betriebsbeschreibungen der einzelnen VB in Kapitel 4.3).

Der Ausfall einer solchen Leitung würde für den einzelnen VB sowie für das Gesamtsystem zu einer erhöhten Beeinträchtigung der Versorgungssicherheit und somit zu einem erhöhten Ausmaß des Schadens führen. Die Bewertungskriterien werden daher in einer Ja/ Nein Abfrage vergeben, siehe Tabelle 24.

Tabelle 24: Bewertung Verbundleitung (Eigene Darstellung)

| Verbundleitung | | |
|----------------|------|------------------------------------|
| Kriterium | Wert | Beschreibung |
| Ja | 1 | Verbundleitung/ besondere Relevanz |
| Nein | 0 | Fernwasserleitung |

Innerhalb des Bestandsdatensatzes liegen bezüglich der Verbundleitungen aktuell noch keine weiteren Unterteilungen des Fernleitungstyps vor. Nach Festsetzung der Definition und in Absprache mit der technischen Werkleitung kann die Kriterienvergabe manuell im GIS für alle Leitungsabschnitte durchgeführt werden. Leitungsabschnitte die einer Verbundleitung angehören, werden durch die Vergabe der definierten Kennung eindeutig identifiziert. Abbildung 40 zeigt beispielhaft das Ergebnis der identifizierten Verbundleitungen im GIS.



Abbildung 40: Beispiel-Auswertung der Verbundleitungen (Eigene Darstellung)

Der Abschnitt der Verbundleitung reicht i.d.R. vom einen HB zum anderen z.B. Bezugshochbehälter bis zum WW oder dem Haupthochbehälter der jeweiligen

Versorgungszonen. Zudem ist es möglich, dass zwei Verbundleitungen zwischen zwei VB bestehen können, siehe beispielsweise in Abbildung 40 zwischen Volkach und Sulzfeld.

Abstand zu Bauwerken – Exogenes Ausmaß

Neben einer Gefährdung durch den Wegfall der Versorgungsfunktion kann auch von der Rohrleitung selbst eine Gefährdung für Dritte ausgehen. Bei Rohrbrüchen, offenen Überschwemmungen oder unterirdischen Unterspülungen kann es zu Personenschäden, Sachschäden an Gebäuden oder anderen Infrastrukturen wie Straßen oder Schienennetzen kommen. Das Gefährdungspotential hängt hierbei stark von der Örtlichkeit der Leitung ab bzw. von der Nähe zum Objekt sowie von der Dimension der Leitung.

Für die Verlegung von Rohrleitungen werden daher permanente Schutzstreifen abhängig vom Rohrdurchmesser festgelegt. In diesem Schutzstreifen gelten die folgenden Nutzungsbedingungen bzw. Einschränkungen:

- Keine Errichtung von betriebsfremden Gebäuden (weder Wohn- noch Nutzgebäuden)
- Vermeidung von Bewuchs, der den Betrieb oder die Instandhaltung beeinträchtigt
- Keine Lagerung von Schuttgütern, Baustoffen oder wassergefährdenden Inhaltsstoffen
- Nutzungsänderung wie Geländeabtrag oder Befestigung sind mit Leitungsbetreiber abzustimmen.

Die Mindestbreite der Schutzstreifen, abhängig vom Leitungsquerschnitt, ist in Tabelle 25 angegeben. Die Leitung soll in der Mitte des Schutzstreifens liegen. (DVGW W 400-1 (A), 02/2015, S. 35) Rechts und links der Leitung ist somit ein Abstand um die Hälfte der angegebenen Breite einzuhalten.

Tabelle 25: Schutzstreifen von Rohrleitungen (Nach DVGW W 400-1 (A), 02/2015, S. 35)

| Rohrleitungsdurchmesser | Schutzstreifenbreite |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Bis DN 150 | 4 m |
| über DN 150 bis DN 400 | 6 m |
| Über DN 400 bis DN 600 | 8 m |
| Über DN 600 | 10 m |

Die Leitungsquerschnitte der FWF liegen zum größten Teil im Bereich zwischen 150 und 400 Millimetern und nur wenige Abschnitte besitzen eine Nennweite von DN 600 oder DN 700. Die in der FWF verlegten Leitungen besitzen daher i.d.R. einen Schutzstreifen von sechs Metern, also drei Metern pro Seite. In der Grunddienstbarkeit des Schutzstreifenbereichs sind der FWF gesonderte Berechtigungen eingeräumt sowie oben genannte Nutzungsbedingungen festgeschrieben. Die FWF ist somit berechtigt, das jeweilige Flurstück für den Betrieb und die Instandhaltung zu begehen, die Leitung zu betreiben und ggf. dauerhaft zu belassen. Etwaige Flur- und Obstbaumschäden sind ebenfalls in der Grunddienstbarkeit vereinbart. (vgl. Auszug Dienstbarkeitsbestellung FWF 2016)

Mit der Ausdehnung von Ortschaften und Neuentstehung von Industriegebieten kann es im Laufe der Zeit dazu kommen, dass Schutzstreifen teilweise unberücksichtigt bleiben und Gebäude, Parkplätze oder Scheunen im Bereich des Schutzstreifens errichtet werden.

Die Frage möglicher Gefährdung von Dritten wird daher mit der Einhaltung des Schutzstreifens verknüpft. Wird der vorgegebene Schutzstreifen zum jeweiligen Leitungsdurchmesser eingehalten, besteht kein erhöhtes Gefährdungspotential. Befinden sich im Bereich des

Schutzstreifens Wohn-, Industrie oder Nutzgebäude, muss von einem erhöhten Schadensausmaß ausgegangen werden.

Der Bewertungsmaßstab und die Wertevergabe ist in nachfolgender Tabelle 26 festgelegt.

Tabelle 26: Bewertungsmaßstab Schutzstreifen Einhaltung (Eigene Darstellung)

| Einhaltung des Schutzstreifens | Werte |
|--------------------------------|-------|
| Ja | 0 |
| Nein | 1 |

Zur Überprüfung und Festlegung dieses Kriterium wird im GIS eine Verschneidung von der Schutzstreifenbreite mit den Gebäudeflächen durchgeführt. Hierfür werden zunächst die Schutzstreifenbreiten zu den jeweiligen Durchmessern der Leitungen ermittelt und als Attribute hinzugefügt. Ausgehend von den ermittelten Breiten können sogenannte „Buffer-Flächen“, also Abstandsbereiche erzeugt werden. Abbildung 41 zeigt beispielhaft unterschiedliche Schutzstreifenbreiten wie sie für unterschiedliche Nennweiten gelten.

Die digitalen Gebäudeflächen basieren auf dem sogenannten ALKIS-Datenbestand, d.h. dem amtlichen Liegenschaftskataster der bayerischen Vermessungsverwaltung. Eine andere Datenquellenoption wären die Open-Street-Map (OSM) Daten, die ebenfalls geprüft wurden. Aufgrund der unterschiedlichen Koordinatensysteme und Projektionen gab es einige Abweichungen zwischen den beiden Datensätzen. Anhand einer optischen Plausibilitätsprüfung und aufgrund der Datenherkunft ist davon auszugehen, dass die ALKIS-Daten eine höhere Genauigkeit und Aktualität aufweisen und daher hier bevorzugt angewendet werden.

Anhand der ermittelten Schutzstreifen und Gebäudeflächen lassen sich Berührungspunkte und Überschneidungen ermitteln und den einzelnen Leitungsabschnitten zuordnen.

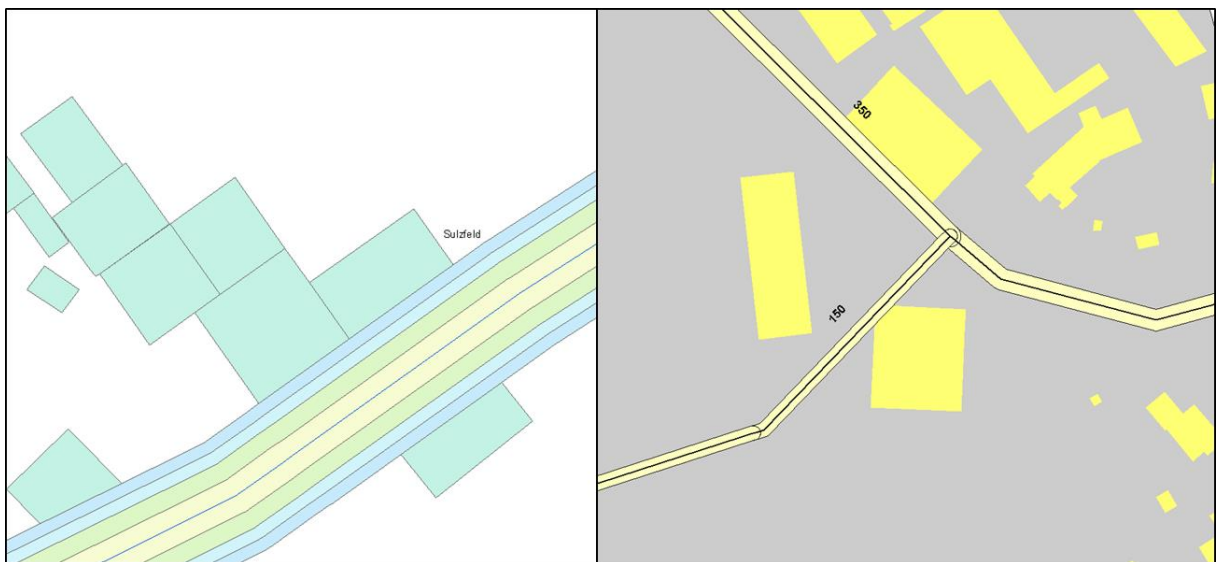


Abbildung 41: Beispiel verschiedener Schutzstreifenbreiten (Eigene Darstellung)

Bei der Durchführung dieser Analyse ist zu beachten, dass im Gebäudedatenbestand ebenfalls die Flächen von Wasserwerken und Hochbehältern der FWF enthalten sind, die eine direkte Verbindung zu den Leitungen haben. Daher gilt es zunächst die FWF eigenen Gebäude zu identifizieren und von der Überschneidung auszuschließen. Unternehmenseigene Gebäude werden bei der Betrachtung folglich nicht berücksichtigt.

Abbildung 42: Verschneidung von Schutzstreifen und Gebäudeflächen (Eigene Darstellung)

Generell kann davon ausgegangen werden, dass Leitungen mit größeren Querschnitten bzw.

generieren kann davon ausgegangen werden, dass Leitungen mit größeren Querschnitten bzw. Nennweiten größere Wassermengen transportieren und ihnen daher eine erhöhte versorgungstechnische Bedeutung zukommt. Zuvor beschriebene Faktoren bezüglich des Schadensausmaßes stehen daher im indirekten Zusammenhang mit den Nennweiten. Die Gewichtung der Abgabemenge, die Auswirkung auf Dritte sowie die definierten Verbundleitungen korrelieren in den meisten Fällen mit der Größe der Leitungsquerschnitte. Aus diesem Grund soll über den Leitungsquerschnitt für große DN eine Gewichtung erfolgen.

In Anlehnung an die Nennweitengliederung nach DVGW W 402 werden die Leitungsabschnitte in zwei zusammengefassten Nennweitenklassen (s. Tabelle 27) bewertet.

Tabelle 27: Bewertung Nennweitenfaktor (Eigene Darstellung)

| Durchmesser DN | Wert | Betrifft DN |
|----------------|------|------------------------------|
| ≥300 | 1 | 300, 350, 400, 450, 500, 700 |
| <300 | 0 | 250, 200, 150, 100, 80, 50 |

Anhand hinterlegter Leitungsinformationen wird die Vergabe der Bewertungspunkte über eine „WENN-UND-Abfrage“ vergeben. Im GIS erfolgt die Zuordnung über die Option „Feldberechnung“ mit einer Formel im VB-Skript.

5.5.4.3 Auswertung Risikoanalyse

Nachdem jedem Leitungsabschnitt eine Bewertung zu jedem Kriterium zugeordnet ist, werden die vergebenen Punkte verrechnet. Eine hohe Zahl bedeutet ein höheres Risiko.

Die mathematische Verknüpfung der Einzelbewertungen aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Ausmaß des Schadens kann durch Addition und/oder Multiplikation erfolgen. Das Ergebnis

liefert eine individuelle Bewertung des einzelnen Leitungsabschnitts. Die mathematische Kombination ist so zu wählen, dass die Gewichtungen der einzelnen Kriterien in einem korrekten Bezug zueinander stehen. (DVGW W 400-3, 09/2006, S. 19)

Bei der Auswertung werden sowohl die Ansätze der Addition wie auch der Multiplikation von den Summen der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß berechnet. Hierfür werden die vergebenen Punkte der Eintrittswahrscheinlichkeit addiert, s. Formel [1] zur Bestimmung der Werkstoffgruppe, hier MA_{ID} genannt und Formel [2] für Bildung der Eintrittswahrscheinlichkeit.

$$MA_{ID} = \text{Werkstoff}_{ID} + ZM_{ID} + ZMU_{ID} \quad [1]$$

$$\text{Eintritt} = MA_{ID} + \text{Alter}_{ID} + \text{Schadens}_{ID} \quad [2]$$

Die addierten Punkte des Schadensausmaßes ergeben sich wie in Formel [3] beschrieben. Hier ist zu beachten, dass eine Leitung i.d.R. nicht gleichzeitig eine Stichleitung und Verbundleitung sein kann.

$$\text{Ausmaß} = WMenge_{ID} + \text{Redundanz}_{ID} + \text{Verbund}_{ID} + DN_{ID} + \text{Abstand}_{ID} \quad [3]$$

Das Risiko ergibt sich demnach entweder aus Addition (1) oder Multiplikation (2).

- 1) $\text{Risiko} = \text{Eintritt} + \text{Ausmaß}$
- 2) $\text{Risiko} = \text{Eintritt} \cdot \text{Ausmaß}$

Bei der Multiplikation von Eintritt und Ausmaß wird generell eine bessere Differenzierung durch die größere Bandbreite von Bewertungszahlen erreicht. Nachteil hierbei ist, dass ein Leitungsabschnitt trotz hoher Bewertung zur Eintrittswahrscheinlichkeit, bei geringem Ausmaß aufgrund der hohen Streuung im Ergebnis kaum Berücksichtigung findet. Durch die Multiplikation findet eine zu starke Gewichtung statt, wodurch sich die Bereiche zu weit voneinander entfernen und ihren Bezug zueinander verlieren. Eine Verbundleitung mit großer Abnahme und Nennweite hätte hierdurch ein dreimal so großes Risiko gegenüber einer Fernleitung mit lediglich großer Abnahme.

Bei der Fernwasserversorgung hat die Versorgungssicherheit oberste Priorität und somit birgt bereits jeder Eintritt eines Schadens ein Risiko. Die Addition bewirkt eine jeweilige Verstärkung der bereits gewichteten Eintrittswahrscheinlichkeit durch die Punkte des Ausmaßes. Der Nachteil hierbei ist die geringere Differenzierung der Bewertungsgruppen die jedoch zur Priorisierung benötigt wird.

Über einen iterativen Ansatz, unter Beobachtung der Differenzierung der Ergebnisse sowie Betrachtung der Leitungslängen in den jeweiligen Ergebniskategorien, wird eine weitere Verrechnungsvariante gewählt. Hierbei erfolgt, wie in der nachfolgenden Formel zu erkennen, eine Gewichtung der Schadensrate durch die Punktezahl der Werkstoffeigenschaften.

$$3) \text{ Risiko} = MA_{ID} + (S_{Rate} \cdot MA_{ID}) + \text{Alter}_{ID} + \text{Ausmaß}$$

Dieser dritte Berechnungsansatz basiert auf dem Prinzip der Addition, unterscheidet sich jedoch durch eine weitere Gewichtung der Schadensrate. Leitungsabschnitte die aufgrund ihrer materialtechnischen und schadensbedingten Eigenschaften ein Risiko darstellen, werden hierbei höher gewichtet. Weitere Faktoren sorgen für eine Differenzierung zur Unterscheidung innerhalb der Prioritätenliste. Schadensereignisse, die den materialtechnischen Zustand am besten beschreiben, haben somit einen höheren Einfluss auf das Ergebnis.

Generell kann die Berechnung sowohl im GIS (Field Calculator) wie auch nach Export der Daten in Excel erfolgen. Wichtig ist in beiden Fällen eine einheitliche Datengrundlage der Leitungseigenschaften. In Excel lassen sich die vergebenen Wertepunkte nach angegebener Formel einfach berechnen. Unter Verwendung des „Field Calculators“ (Feldberechnung) lassen sich die Berechnungen ebenfalls in den Attributtabellen im GIS durchführen.

Die grafische Auswertung der Risikoanalyse erfolgt für das Verbandsgebiet sowie für jeden Versorgungsbereich in Form eines detaillierten Ausschnittes. Im GIS kann die Detailtiefe bei Bedarf weiter variiert werden.

Zur Ermittlung der Leitungslängen in den jeweiligen Risikoklassen wird zusätzlich eine tabellarische Auswertung in Form eines sogenannten Mengengerüsts für die Versorgungsbereiche erstellt. Nach einem Tabellen-Export der Daten wird das Mengengerüst in Excel mit Hilfe einer Pivot Tabelle ausgewertet. Diese Auswertung kann je nach aktueller Fragestellung für die einzelnen VB, auf Ebene der Baulose, hinsichtlich der Querschnitte oder Werkstoffe in Zusammenhang mit den Risikoklassen erfolgen. Die Leitungslänge lässt sich entsprechend unterschiedlich aggregieren.

6 ERGEBNISSE

Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse der Wassermengenbilanz, der Wasserbedarfsprognose, der Kennzahlenanalyse sowie der Risikobewertung beschrieben und diskutiert. Die Ergebnisse werden sowohl als eigenständiges Ergebnis als auch im Zusammenhang betrachtet.

6.1 Wassermengenbilanz

In den Ergebnissen wird für den Zeitraum zwischen 2005 und 2015 eine zweiteilige Wassermengenbilanz dargestellt. Die Bilanzierung zwischen Dargebot und Bedarf dient der Einschätzung zur Ressourcenauslastung. Die Betrachtung zwischen Einspeisung und Abgabe wird zur Ermittlung der Verluste im Verteilungssystem herangezogen.

Die Betrachtung der Wassermengen für das Verbandsgebiet der FWF sowie deren VB erfolgt unter Berücksichtigung der beschriebenen Eingangsparameter, die sich ebenfalls in der Auswertung wiederfinden. In Anhang A sind die Ergebnisse grafisch und tabellarisch dargestellt. Die grafischen Auswertungen zeigen die Bezugswassermengen bezogen auf ihre Herkunft bzw. das Gesamtwasseraufkommen, die dazugehörigen Bezugs- und Entnahmerechte sowie die Einspeisung und Abgabe im Verteilungssystem. In einer detaillierteren Aufschlüsselung lassen sich die Ergebnisse in den Tabellen numerisch.

Die Auswertungen haben gezeigt, dass eine klare Abgrenzung der einzelnen VB zwar prinzipiell existiert, jedoch bezüglich der Wassermengen bezogen auf den Betrachtungszeitraum eines Jahres nur schwer zu realisieren ist.

Wassermengenbilanz - Dargebot - Bedarf

Die Wasserbilanz bezogen auf das rechtlich, vertraglich gesicherte Wasserdargebot und den Wasserbedarf lässt sich bei einigen VB sehr gut darstellen. Für VB mit gesplitteten Bezugsrechten sollte die Bilanz stets im Zusammenhang mit den anderen VB bewertet werden. Bei VB mit grundsätzlich reiner Eigenwasserversorgung (Volkach, Uehlfeld, Matzmannsdorf) kann die Wassermenge der Entnahmerechte dem Bedarf gegenüber gestellt werden. Bereits hier ergibt sich ein Sonderfall, da die Brunnen von Haslach und Matzmannsdorf ein gemeinsames Gewinnungsgebiet und somit ein gemeinsames Entnahmerecht haben. Ähnlich verhält es sich mit den Wasserlieferungsverträgen der benachbarten FWVU. Die in einem Vertrag festgelegte Bezugsmenge der RBG verteilt sich auf die VB Elpersdorf, Arberg und Haslach. Dieses Verteilungsverhältnis ist prozentual anhand der historischen Verbräuche festgelegt und den tatsächlichen Verbräuchen gegenüber gestellt worden. Die Obergrenze ist daher eine festgelegte Orientierungsgrenze und kann unter Einhaltung der Gesamtgrenze innerhalb der VB verschoben werden. In den Auswertungen ist das Wasserdargebot als gestrichelte Linie dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass in den vergangenen Jahren keine negativen Jahresbilanzen aufgetreten sind, die Ressourcen jedoch sehr unterschiedlich ausgenutzt wurden. Eine sehr hohe Ressourcenausnutzung ist u.a. im VB Uehlfeld bis zur Anhebung der Entnahmerechte im Jahr 2011 zu erkennen, wurde im Jahreswert jedoch nicht überschritten. Die Ausschöpfung oder Überschreitung des maximalen Tagesdargebots an Spitzenverbrauchstagen ist dadurch jedoch nicht ausgeschlossen. Eine Betrachtung der jährlichen Spitzentageswerte zu den maximalen Tagesentnahmemengen erfolgt in den tabellarischen Auswertungen nur für die Eigenwasserentnahme (VB mit Eigenwasser) bzw. in der Wasserbedarfsprognose.

Abbildung 43 zeigt das Ergebnis für das Verbandsgebiet in der grafischen Darstellung. Die Balken und gestrichelten Linien stellen die Bilanzierung der Ressource dar. Das maximale Dargebot erscheint in gleichfarbigen Balken. Es ist erkennbar, dass die Ausnutzung des Gesamtdargebots deutlich unterschritten ist, wodurch ausreichende Reserven und eine quantitative Versorgungssicherheit im Gesamtverband sichergestellt sind.

Für die einzelnen Entnahme- und Bezugsrechte sind die Bilanzen auf Ebene der VB jedoch ebenso wichtig und können Grundlage für künftige Bedarfs- und Betriebsplanungen sein.

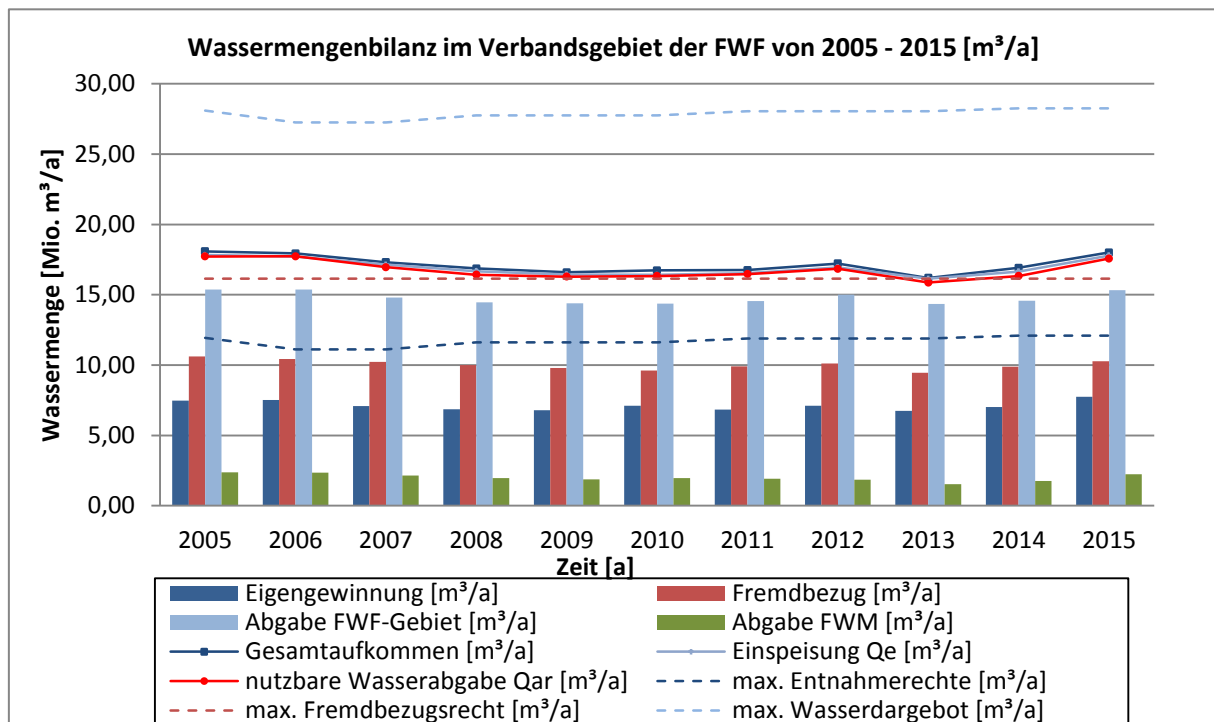


Abbildung 43: Wassermengenbilanz Verbandsgebiet FWF (Eigene Darstellung)

Die ermittelten Entnahme- und Bezugsrechte der Wassermengenbilanz fließen ebenfalls in die Wasserbedarfsprognose mit ein.

Wasserbilanz - Einspeisung - nutzbare Abgabe

Wie in Abbildung 43 zu sehen, werden Einspeisung und nutzbare Abgabe über die rote und blaue Linie dargestellt, wobei diese Ergebnisse noch besser in der Tabellenauswertung verdeutlicht werden. Bei der Wasserbilanz bezüglich der Ermittlung von Wasserverlusten und Festlegung der einzelnen Bilanzgrößen nach dem Ansatz von DVGW W 392 (s. Abbildung 10), gibt es ähnliche Schwierigkeiten bei der Abgrenzung der Wassermengen einiger VB, jedoch aufgrund anderer Ursachen. Die Ergebnisse der berechneten realen Wasserverluste sind daher nicht in jedem Jahr oder für jeden VB gleichermaßen plausibel. In einigen VB kommt es daher in einigen Jahren zu prozentual sehr hohen oder vereinzelt negativen „realen Wasserverlusten“.

Hierfür kommen unterschiedliche Ursachen in Frage, auf die hier nur beispielhaft eingegangen wird. Auch wenn die VB im Normalbetrieb als hydraulisch getrennte Einheiten zu betrachten sind, gibt es aufgrund der Bezugswege (z.B. WFW via VB Hüttendorf → WW Sulzfeld oder RBG via VB Arberg und via HB Karlsholz → VB Haslach) im Fall von Baumaßnahmen oder Versorgungsengpässen einen Austausch von Wassermengen zwischen den VB. Dieser Austausch wird i.d.R. im Betriebsprotokoll über die Zonenbilanz protokolliert. In den allermeisten VB ergeben die Zonenbilanzen, umgelegt auf die VB plausible Werte und sind allgemein der beste

Ansatz, den Einspeisewert Q_E für die Bilanzierung des Verteilungssystems zu ermitteln. Dennoch kann es hier zu Abweichungen der abgerechneten Menge kommen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass im Unterschied zu den Abgabezählern die FWF internen Zähler nicht grundsätzlich geeicht sind und theoretisch höhere Messfehler erzeugen können.

Neben den Abgrenzungsfehlern zwischen den VB, die sich bei der Gesamtbilanz aufheben, sind Messfehler, Umbau oder Ausfall von Zählern Verursacher für Abweichungen der Werte. Spülwassermengen von Rohrleitungen bei Neubauten oder Ausbesserungen werden ebenfalls ausschließlich über Abschätzungen ermittelt. Negative Wasserbilanzen können in seltenen Fällen auftreten, wenn die vertraglich festgelegte Mindestabnahmemenge vom Kunden nicht erreicht aber dennoch abgerechnet wird.

Bei sehr großen Abweichungen zwischen Einspeisung und Abgabe innerhalb der Versorgungsbereiche sollten die Hintergründe betrachtet werden, um bekannte Fehler auszubessern. In der Gesamtwasserbilanz des Verbandsgebiets liefert der Ansatz in den meisten Jahren wesentlich plausiblere Ergebnisse. Abbildung 44 zeigt die Wasserbilanz der FWF im Jahr 2015 beispielhaft für die prozentualen Wassermengen des Bezugs und der Abgabe sowie die „Wasserverluste“.

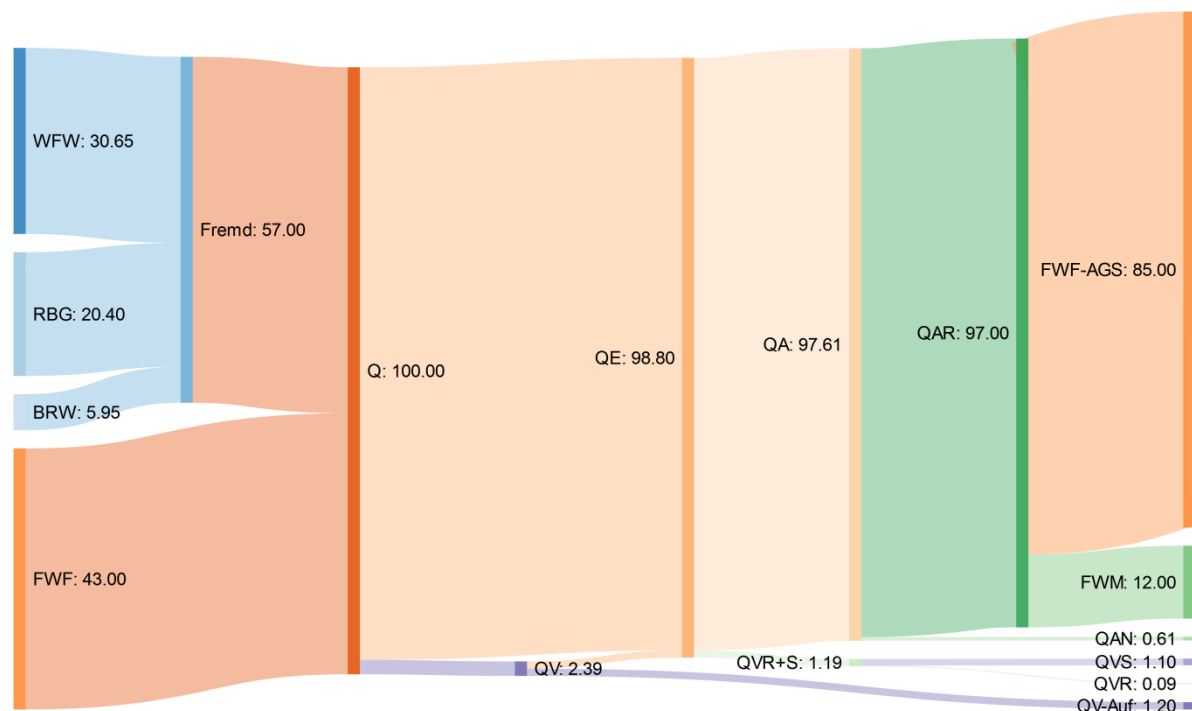


Abbildung 44: Wasserbilanz 2015 Verbandsgebiet FWF - Sanky-Diagramm (Eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der WMB lassen sich je VB bezogen auf ihre Güte unterschiedlich einordnen. In den VB Volkach, Sulzfeld, Uehlfeld, Elpersdorf, Haslach sind die ermittelten Wasserverluste bezogen auf die Gesamtabgabemenge größtenteils plausibel bzw. bei großen Abweichungen auf verschiedene Ereignisse zurückzuführen. In Elpersdorf wurden 2011 beispielsweise größere Reha-Maßnahmen durchgeführt, so dass einerseits der Bezug durch benachbarte Versorgungsbereiche ergänzt und andererseits von größeren Spülwassermengen ausgegangen werden musste (vgl. Abbildung 51, Abbildung 52 und Abbildung 53).

Die kleineren VB Hüttendorf, Matzmannsdorf, Arberg und Schopflohe haben im Verhältnis zu ihrer Abgabemenge etwas höhere Wasserverluste. Für Hüttendorf, Arberg und Schopflohe

können die verhältnismäßig hohen Verluste auch auf den hohen Wasserdurchsatz zurückgeführt werden, da diese VB eine Durchleitungsfunktion des Fremdwassers haben.

Insgesamt konnten für die allermeisten Versorgungsbereiche nach entsprechender Datenaufbereitung weitestgehend annehmbare Werte berechnet werden. Die realen Wasserverluste ließen sich schließlich am besten mit dem Ansatz nach DVGW W 392 unter Berücksichtigung von Scheinverlusten berechnen. In den tabellarischen Ergebnisauswertungen sind die einzelnen Bilanzgrößen wie Betriebswasser, Gesamtverluste, Verluste in der Verteilung, Scheinverluste, reale Verluste sowie bekannte Verluste bei Rohrbrüchen in absoluten und prozentualen Werten angegeben. Die Ergebnisse können daher als eigenständiges Produkt angesehen werden und sind gleichzeitig Eingangsparameter für die Berechnung der Kennzahlen.

Empfehlungen - Anmerkungen

Anhand der Vorgehensweise und der Ergebnisse lassen sich für zukünftige Wassermengenbilanzen, bezogen auf Bezugsrechte und Wasserverlustmanagement, verschiedene Anmerkungen **allgemein** sowie für die VB formulieren.

Zur Erstellung der Jahresbilanzen bezogen auf die Ressourcenauslastung sind in den meisten Fällen die Daten vom Detaillierungsgrad ausreichend. Die Auslastung der Tagesmaxima lassen sich aktuell v.a. über die EÜV für die Eigentnahmen erkennen und dokumentieren. Die Auslastung der täglich maximalen Fremdbezugsmengen wird aktuell nicht im Zusammenhang mit dem Betriebsdatenprotokoll dokumentiert, könnte jedoch Aufschluss über die Auslastung geben. Die Fremdbezugsmengen werden jedoch im jeweiligen HB im Zusammenhang mit den maximalen Tagesbezugsrechten über die Steuerung kontrolliert. Eine Überschreitung der vertraglich festgelegten Tagesmengen wird somit automatisch über die SPS-Anlagen verhindert.

Die Bilanzierung im Verteilungsnetz bzw. die Zonenbilanz im Betriebsdatenprotokoll sollte für manche VB weiter verfeinert werden. Vor allem die direkte Ergänzung der Abgabemengen an die Kunden (Abrechnungszahlen) im Betriebsdatenprotokoll könnte dafür genutzt werden, eine Echtzeitbilanzierung zur Ermittlung von Wasserverlusten aufzustellen.

Im VB **Arberg** sind die Abrechnungszahlen der RBG zu überprüfen und ggf. mit ins Betriebsdatenprotokoll aufzunehmen. Dies betrifft v.a. die Abzüge der Wassermengen, welche an die Ortschaften gehen, die außerhalb des VB liegen. Diese Ortschaften könnten ggf. mit an das automatische Zählerauslesesystem angeschlossen werden, um die Wassermengen direkt bilanzieren zu können.

Im VB **Schopflohe** sollten aufgrund einer nach wie vor bestehenden Abweichung die Zähler im HB Karlsholz u.a. zur AGS Halsbach bzw. die Berechnung der Zonenbilanz im Betriebsdatenprotokoll geprüft werden. Abweichungen in den Jahren bis 2013 konnten nach der Umstellung der SPS-Anlagen aufgehoben werden.

Abweichungen in anderen VB ließen sich auf oben beschriebene Gründe wie SPS-Anlagen-Umstellungen oder andere Gegebenheiten zurückführen. Auf diese wird hier nicht gesondert eingegangen. Für das Verlustmanagement ist sinnvollerweise eine klare Abgrenzung der Versorgungsbereiche oder Zonen zu empfehlen. Die hohe Komplexität, die unterschiedlichen Systemkomponenten können dies deutlich erkennbar erschweren.

6.2 Wasserbedarfsprognose 2040

Als Teil der Studie 2040 sowie zur Abschätzung der quantitativen Bedarfsentwicklung in den einzelnen Versorgungsbereichen wird eine Prognose des Wasserbedarfs für das Jahr 2040 ermittelt.

Der allgemeine Entwicklungstrend sowie das in Erwägung ziehen von Neuanschlüssen weiterer Abnehmer in den Versorgungsbereichen kann Aufschluss darüber geben, wo Umstrukturierungen, Querschnittsänderungen oder Neuverlegungen der Leitungen berücksichtigt werden sollten. Auch wenn aktuell keine Rohrnetzberechnung im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wird, kann die Wasserbedarfsprognose als Voreinschätzung von potentiellen Änderungen genutzt werden.

Durch die Ressourcenauslastung kann das aktuelle Wasserdargebot ins Verhältnis mit dem zukünftigen Wasserbedarf gesetzt werden, so dass die Differenz die Variabilität für den jeweiligen Versorgungsbereich verdeutlicht.

Die Ergebnisse der Wasserbedarfsprognose sind grafisch und tabellarisch für das Verbandsgebiet sowie für jeden Versorgungsbereich im Anhang B dargestellt. Die Kombination aus Grafik und Tabelle ergibt für jeden VB eine Art Datenblatt zur Bedarfsprognose. In der grafischen Auswertung ist zu beachten, dass zur besseren Darstellung der Ergebnisse die Skalen der Wasserabgabemengen an die jeweilige Größe des VB angepasst sind. Für die zwei Berechnungsszenarien, einmal ohne und einmal mit Neuanschlüssen, werden jeweils ein minimaler und maximaler Wert mit unterschiedlichen Basisjahren berechnet. Hierdurch wird ein gewisser Bereich abgedeckt, in dem der tatsächliche zukünftige Wasserbedarf liegen könnte.

Die Ergebnisse der grafischen Auswertung zeigen, dass der Trend für das Szenario ohne Neuanschlüsse (grüne Linie) in den meisten VB einen gleichbleibenden (Minimalwert) bis leicht ansteigenden Wert (Maximalwert) annimmt. Dies spiegelt ebenfalls das Ergebnis des Verbandsgebiets wider. In den kleineren VB Arberg und Schopflohe ist von einer Abnahme des Bedarfs auszugehen. Insgesamt sind die Veränderungen ausgehend vom Mittel- bzw. Maximalwert (2015) eher gering.

Im Gegensatz zum ersten Szenario haben die potentiellen Neuanschlüsse von Gemeinden, Ortsteilen oder die Erweiterung zur Vollversorgung eines bisher zur Hälfte versorgten Bereichs einen wesentlich höheren Einfluss auf die Veränderung des Wasserbedarfs. In VB mit Neuanschlüssen ist daher für dieses Szenario grundsätzlich von einer Zunahme auszugehen. Die Abschätzung der Neuanschlüsse sollte jedoch nur als Maximalprognose gelten, da auch hier Unsicherheiten bestehen können. Die Anschlusswahrscheinlichkeit bis zum Jahr 2040 ist je nach Gemeinde und VB unterschiedlich einzustufen. Eine genauere Sachlagenprüfung sollte v.a. in den VB vorgenommen werden, in denen der Maximalwert von 2040 in den Bereich des Gesamtwasserdargebots kommt bzw. diesen überschreitet.

Je nach Größe des VB fallen die Wassermengen von potentiellen Neuanschlüssen unterschiedlich ins Gewicht. Die zusätzliche Mitversorgung kleinerer Gemeinden im VB Elpersdorf bedeutet beispielsweise nur eine kleine prozentuale Erhöhung der Gesamtwasserabgabe. In kleinen Versorgungsbereichen kann bereits die Hinzunahme eines Ortsteiles eine größere Menge der Gesamtabgabe ausmachen (vgl. VB Schopflohe).

Ein hohes Potential für Neukunden und eine damit verbundene Bedarfssteigerung ist v.a. in den Versorgungsbereichen Sulzfeld, Hüttendorf und Elpersdorf vorhanden. In Sulzfeld und Elpersdorf ist ein Anstieg von ca. 20 Prozent, bezogen auf den Durchschnittswert (2011-2015)

zu erwarten, während sich in Hüttendorf der Bedarf durch potentielle Neukunden mehr als verdoppeln würde. Im VB Haslach könnte ein größerer Bedarf v.a. durch die Vollversorgung der Stadt Feuchtwangen entstehen, was aktuell lediglich im Falle einer Notversorgung geplant ist. In den übrigen VB sind Zunahmen durch Neuanschlüsse prozentual oder absolut größeren ohne Einfluss.

Der Berechnungsansatz ist so aufgebaut, dass der prognostizierte Bedarf auch auf Ebene der Versorgungszone, der Abgabestellen oder der Gemeinden ausgewertet werden kann. Zur Darstellung der Veränderungen sowie potentiell neu angeschlossener Gemeinden wird die Wasserbedarfsprognose auf Gemeindeebene mit der Darstellung einer Karte ausgewertet. Die farblichen Abstufungen zeigen die unterschiedlich hohen Abgabemengen bzw. im Vergleich die jeweiligen Veränderungen. Eine deutliche Veränderung wird v.a. zwischen dem Ausgangsjahr und der Prognose mit Neuanschlüssen bzw. Vollversorgung deutlich. Anhand dieser Grafiken können zugleich die VB und das Leitungssystem mit Abgabemengen bzw. den Bedarfsentwicklungen verglichen werden.

Die Ergebnisse in den Tabellen zeigen neben den minimalen und maximalen Jahreswerten der zwei Szenarien, die prozentualen Abweichungen vom mittleren Ausgangsjahr sowie die Variabilität als Differenz zwischen Dargebot und Bedarfswert. Die jährliche Betriebswassermenge bzw. der Eigenbedarf ist in den Bedarfsberechnungen nicht enthalten, wird aber als gleichbleibend angenommen. Zusätzlich zu den Jahreswassermengen werden der mittlere und maximale Tageswasserbedarf sowie der Stundenbedarf berechnet. Diese können ggf. zur weiteren Planung des Verteilungssystems genutzt werden.

Die Betrachtung der Variabilität hat gezeigt, dass bezüglich der Jahreswassermengen in keinem Versorgungsbereich eine Überschreitung des aktuell, rechtlich gesicherten Dargebots zu erwarten ist. Lediglich in den VB Volkach, Uehlfeld und Matzmannsdorf beträgt die Auslastung im maximal angenommenen Bedarfsfall mehr als 80 Prozent. In Volkach ist die Auslastung auf die zuletzt durchgeführte Betriebsumstellung und Hinzunahme von mehreren AGS zurückzuführen, welche die Ressourcen des WW Volkach mehr zu nutzen beabsichtigte. In Matzmannsdorf ist die maximale Entnahmemenge im Zusammenhang mit dem VB Haslach zu sehen, weshalb hier von einer größeren Kapazität ausgegangen werden kann. Das Entnahmerecht im VB Uehlfeld konnte ab dem Jahr 2011 bereits erweitert werden (vgl. Abbildung 50), gilt jedoch nur bis zum Jahr 2021. Zur Sicherstellung ausreichender Ressourcen im Spitzenbedarfsfall könnte eine Erhöhung der Entnahmemenge oder Umstellung der Betriebsführung bei der Neuauslegung des Entnahmerechts berücksichtigt werden. Das Bezugsrecht der WFW an der Übergabestelle Hüttendorf wird aufgrund des umgestellten Mischungsverhältnisses im WW Sulzfeld in der Prognose neu aufgeteilt. Während sich die bisherige Aufteilung des Dargebots in Anlehnung an die tatsächlichen Verbrauchswerte im Verhältnis von ca. 15 (HD) zu 85 (SF) orientierte, wird das Verhältnis auf 30 zu 70 umgestellt. Insgesamt ist nicht von einem Ressourcenengpass auszugehen, da die Variabilität der direkt benachbarten VB genutzt und im Bedarfsfall eine Verbundversorgung hergestellt werden kann.

Die Wasserbedarfsprognose kann wie die Wassermengenbilanz als eigenständiges Ergebnis gesehen werden. Sie lässt sich v.a. zum Vergleich und zur Bewertung der Versorgungsbereiche nutzen. Trends und Ergebnisse werden daher im Zusammenhang mit der Auswertung der Kennzahlen beschrieben. Gleichzeitig werden die Zwischenergebnisse, wie beispielsweise die Wassermengen pro AGS, in der Risikoanalyse genutzt.

6.3 Kennzahlenvergleich der Versorgungsbereiche

Der nachfolgende Abschnitt geht auf die Berechnung sowie die Ergebnisse der Kennzahlen ein. Hinsichtlich der Fragestellung dieser Arbeit werden zunächst die Anwendung selbst sowie die allgemeinen Ergebnisse je Kennzahl bewertet. Weiterhin werden die berechneten Kennzahlen mit externen Kennzahlenergebnissen und intern untereinander verglichen.

6.3.1 Anwendung und Eignung der Kennzahlen

Nach Berechnung und Auswertung der einzelnen Kennzahlen, hat sich gezeigt, dass manche Kennzahlen bezüglich der Fragestellung gut, manche schlechter für eine Bewertung geeignet sind. Die Eignung der Kennzahl wird einerseits von der Kennzahl selbst, andererseits von den geforderten Datenvariablen und der Datenverfügbarkeit in der FWF beeinflusst. Im Nachfolgenden wird daher auf einzelne Strukturmerkmale und Kennzahlen sowie deren Berechnung genauer eingegangen.

Metermengenwert

Zur Beurteilung der Nutzungsintensität des Leitungssystems stellt der Metermengenwert im Zusammenhang der Fragestellung ein interessantes Strukturmerkmal dar. In den Berechnungen wird auf den 10-jährigen Mittelwert der Netzeinspeisung zurückgegriffen, um eine entsprechende Beurteilung abgeben zu können. Die Ergebnisse zeigen v.a. die sehr unterschiedlichen Größenstrukturen der Versorgungsbereiche, so dass dieses Ergebnis vorwiegend als Strukturmerkmal dient.

Täglicher Spitzenfaktor

Die Ergebnisse des täglichen Spitzenfaktors liegen weitestgehend im Bereich zwischen 2 und 1,3, was den Orientierungswerten nach DVGW W 410 entspricht (DVGW W 1100-3 (M), 02/2016, S. 54). Aufgrund der großen Speicher- und Pufferkapazitäten sowie der guten Vernetzung der VB untereinander und mit benachbarten FWVU sind keine Versorgungsengpässe zu erwarten. Die Werte des Strukturmerkmals können im internen Vergleich die Netzstrukturunterschiede ersichtlich machen.

Da sich die Berechnungsdaten teilweise auf die letzten zehn Jahre beziehen ist zu beachten, dass sich die Strukturen der VB und somit die Abgabemengen in den letzten Jahren stetig geändert haben. Ausgehend von den vorhandenen Datensätzen ist die Datenaufbereitung sehr aufwändig, weshalb der Berechnungsansatz modifiziert wurde. Die Aussagekraft zum hier gebildeten Spitzenfaktor sollte daher je VB einzeln bewertet werden. Der Berechnungsansatz erlaubt außerdem, dass der tägliche Spitzenwert mit einem durchschnittlichen Tageswert eines anderen Spitzenjahres verglichen werden kann. Die Trennung der zwei Parameter über einen größeren Zeitraum kann zu einer Verfälschung führen, da sich die Rahmenbedingungen innerhalb dieses Zeitraums ebenfalls ändern können.

Durchschnittliches Leitungsalter

Die Berechnung des durchschnittlichen Leitungsalters wird nach der Methode der Kennzahlenberechnung von Aquabench durchgeführt. An Stelle der Bildung von Mittelwerten in Altersklassen ist es bei entsprechender Datenqualität, ebenfalls möglich den Mittelwert aller Abschnitte zu bilden. Generell ist das „mittlere Leitungsalter“ ein wichtiges Kriterium zur technischen Beurteilung des Verteilungssystems und im Zusammenhang mit der hier untersuchten Fragestellung gut geeignet.

Ausschöpfung der rechtlich gesicherten Wasserressourcen am Spitzentag

Die Betrachtung der Ressourcenauslastung am Spitzentag hat nur indirekt mit den technischen Komponenten des Rohrleitungssystems zu tun. Eine Beurteilung zum technischen Zustand ist anhand dieser Kennzahl nicht möglich.

Dennoch lassen sich allgemeine Aussagen über den gesamten Versorgungsbereich treffen. Ist die Ressourcenauslastung beispielsweise sehr hoch bzw. sehr gering, sollte dies in der zukünftigen Planung berücksichtigt werden, da es zu Umstrukturierungen im Versorgungssystem führen kann. Ein VB mit einer sehr geringen Auslastung hat eine große Variabilität, kann als Aushilfe für andere VB dienen und bietet gleichzeitig die Möglichkeit potentielle Neukunden anzuschließen. Die Rehabilitation sollte in diesem Fall mit benötigten Neuverlegungen abgestimmt werden.

Eine erhöhte Ressourcenauslastung von nahezu 100 Prozent zeigt, dass die Kapazitäten nicht ausreichen. Hier ist es sinnvoll die Vernetzung zu den benachbarten VB sicherzustellen, d.h. bei Leitungsplanungen die Verbundleitungen näher zu berücksichtigen. Die Bedeutung der Verbundleitungen steigt v.a. in VB mit einer erhöhten Ressourcenauslastung. Eine Bewertung ist in diesem Fall im Zusammenhang mit der Gesamtgröße des VB zu sehen.

Eine hydraulische Bewertung von Leitungsquerschnitten kann nur mit einer Rohrnetzberechnung und nicht mit der Bildung dieser Kennzahl durchgeführt werden.

Leitungsschäden

Die Kennzahl der Leitungsschäden, d.h. die Bildung der Schadensrate steht im direkten Zusammenhang mit dem materialtechnischen Zustand des Rohrleitungssystems. Bei der Berechnung der Kennzahl hat sich gezeigt, dass eine aussagekräftige Beurteilung des Gesamtleitungssystems nur unter Berücksichtigung mehrerer Zeitreihen erfolgen kann. Daher wird die Bildung einer durchschnittlichen Schadensrate über den Zeitraum der letzten 20 Jahre gewählt. Erst hierdurch sind auch die VB untereinander vergleichbar.

Die Berechnung der modifizierten Kennzahl kann ausschließlich unter der Voraussetzung gut geführter Statistiken erfolgen die es erlauben, die Schäden den einzelnen Leitungen bzw. VB zuzuordnen. Zur Beurteilung des materialtechnischen Leitungszustands sind ebenso Informationen zur Schadensursache notwendig, um fremdverschuldete Schäden herauszufiltern.

Anhand der Grenzwerte zulässiger Schadensraten für Fernwasserleitungen nach DVGW W 392 können die Ergebnisse gut eingeordnet werden. Die Einheit der Kennzahl ist als Schadensanzahl pro 100 Kilometer und Jahr definiert. Die Grenzwerte (Tabelle 16) verschieben sich daher bei der Bewertung um zwei 10er Potenzen. Vor der Einzelbewertung ist bereits festzustellen, dass nur in wenigen VB eine „niedrige Schadensrate“ von 1 [n/100km/a] überschritten wird. Zur Beurteilung der VB untereinander ist daher ebenfalls der Mittelwert geeignet.

Reale Wasserverluste

Die Kennzahl der realen spezifischen Wasserverluste kann i.d.R. gut genutzt werden, um die Qualität des Rohrleitungssystems zu beurteilen. Zur Quantifizierung und exakten Abgrenzung des Versorgungsbereichs bedarf es enorm genauer Eingangsparameter. Die Fragestellung zu einer genauen Abgrenzung für die einzelnen VB innerhalb des FWF-Gesamtsystems ist bisher noch nicht aufgekommen. Der Ansatz die Wasserverluste wie die Schadensrate und Reha-Rate über einen längeren Zeitraum zu betrachten und zu mitteln, birgt v.a. die Schwierigkeit die exakte Abgrenzung bei historischen Daten der letzten 10 Jahre vorzunehmen.

Die Ergebnisse der Wassermengenbilanz innerhalb des Verteilungssystems zeigen, dass die Ermittlung der realen Verluste bzw. Abgrenzung bei VB mit Fremdbezug und in Jahren mit großen Baumaßnahmen oder Betriebsumstellungen besonders schwierig ist. Aufgrund der Tatsache, dass eine Abgrenzung zwischen den Versorgungsbereichen nicht für jeden VB und nicht in jedem Untersuchungsjahr gewährleistet ist, kann eine Beurteilung des Leitungssystems ausgehend von den realen spezifischen Verlusten nur bedingt vorgenommen werden.

Der grundsätzliche Gedanke, die Verluste in einer Bewertung der Rehabilitationsplanung zu berücksichtigen sollte jedoch beibehalten werden. Aus diesem Grund bleibt die Kennzahl mit dem Vermerk der bedingten Aussagekraft innerhalb der Bewertung erhalten.

Leitungsrehabilitation

In Zusammenhang mit den anderen Kennzahlen lässt sich anhand der Information über die Rehabilitationsrate der letzten 10 Jahre eine gute Beurteilung des Verteilungssystems vornehmen. Wird die Reha-Rate ebenfalls mit der „Schadensrate Leitungen i.B.“ und „Schadensrate inklusive stillgelegter Leitungen“ (vgl. Tabellenauswertung) verglichen, werden die Effekte der Rehabilitation bereits erkennbar. Die Kennzahl der Leitungsrehabilitation gehört damit zu einer der wichtigsten zur Beurteilung des Verteilungssystems.

Während die Kennzahl bisher für das gesamte FWF Verbandsgebiet gebildet wurde, kann durch die Differenzierung auf Ebene der VB die konkrete Lage der Rehabilitation identifiziert werden. Hierbei wird deutlich, dass die Reha nur in einigen VB erfolgte. In fünf der neun VB entspricht die Reha-Rate der letzten 10 Jahr gleich null.

Nachhaltige Rehabilitation

Eine Beurteilung der nachhaltigen Rehabilitation ist nur für VB sinnvoll, in denen innerhalb der letzten Jahre tatsächlich Rehabilitation stattgefunden hat. Die drei Kennzahlen Reha-Rate, reale Wasserverluste und Leitungsschäden werden zu einem Gesamtbild zusammengeführt. Hierdurch lassen sich die positiven Effekte einer Rehabilitation erkennen und abbilden. Die Erfahrungswerte zu dieser Kennzahl sind bisher noch sehr gering, weshalb hier keine offiziellen Referenzwerte im aktuellen Merkblatt vorliegen. Eine Beurteilung kann jedoch im Vergleich zu den anderen VB bzw. im Vergleich zum Mittelwert erfolgen.

Prozentuale Wasserverluste

Wie bereits beschrieben, eignet sich die Kennzahl der prozentualen Wasserverluste weniger zur Bewertung des technischen Leitungszustands. Durch die Angabe prozentualer Wasserverluste lassen sich jedoch die absoluten Wasserverluste insgesamt besser einordnen. Gleichzeitig kann eine Korrelation zwischen realen Verlusten je Leitungslänge und prozentualen Verlusten verglichen werden.

Abhängigkeit der Schadensrate vom mittleren Alter

Zur weiteren Systemanalyse wird mit dem Ansatz der Kennzahl „Schadensrate bezogen aufs mittlere Leitungsalter“ der Vergleich zwischen den VB hinsichtlich Schadensrate und Leitungsalter geprüft. Werden die zwei Größen wie in Abbildung 45 ins Verhältnis gesetzt, so ist ein gewisser Trend zu erkennen. Die Abweichungen zeigen, dass dieser Zusammenhang nur eine bedingte Aussagekraft aufweist.

Mit dem Hintergrundwissen, dass die VB Volkach, Hüttendorf, Arberg und Schopflohe aktuell in ihrem Leitungsbestand keine Graugussrohre ohne ZM-Auskleidung besitzen, lassen sich die

Werte unterhalb der Trendgeraden erklären. Dies zeigt, dass die Schadensrate nicht im direkten Zusammenhang mit dem Leitungsalter steht, allerdings einen Trend vorgibt.

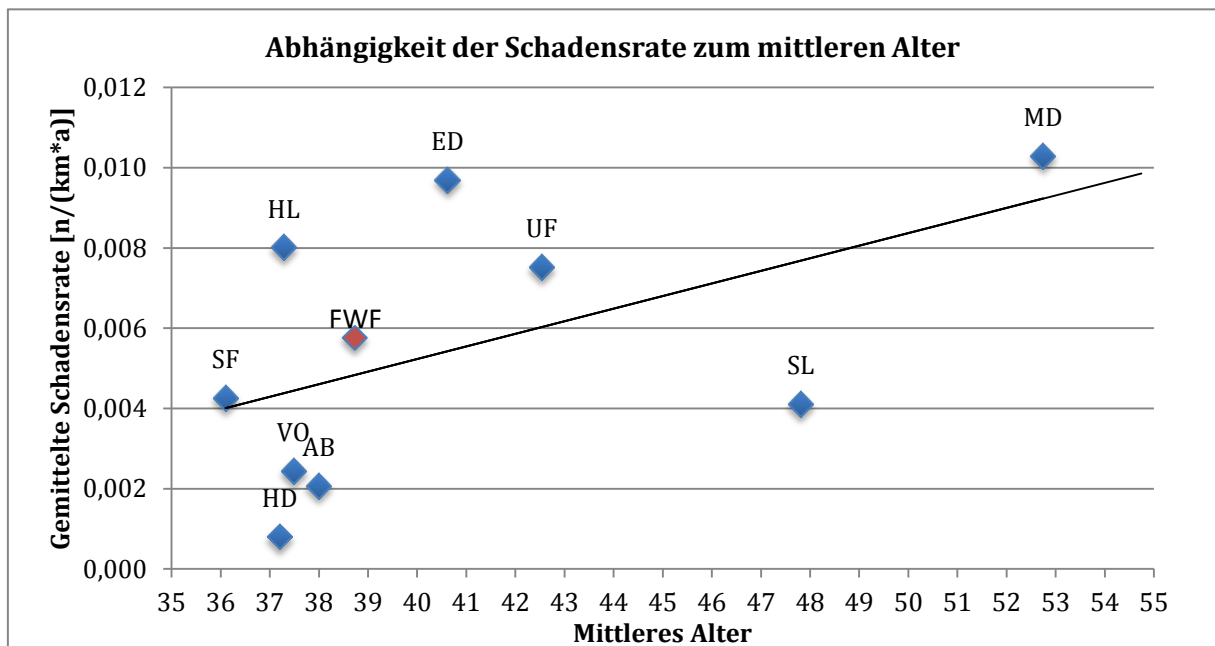


Abbildung 45: Abhängigkeit der Schadensrate zum mittleren Alter (Eigene Darstellung)

Der Quotient der beiden Betrachtungsgrößen ist in Abbildung 46 der Größe nach für jeden VB aufgetragen. Aufgrund des relativ nah beieinanderliegenden Alters, hat v.a. die Schadensrate einen größeren Einfluss auf das Ergebnis.

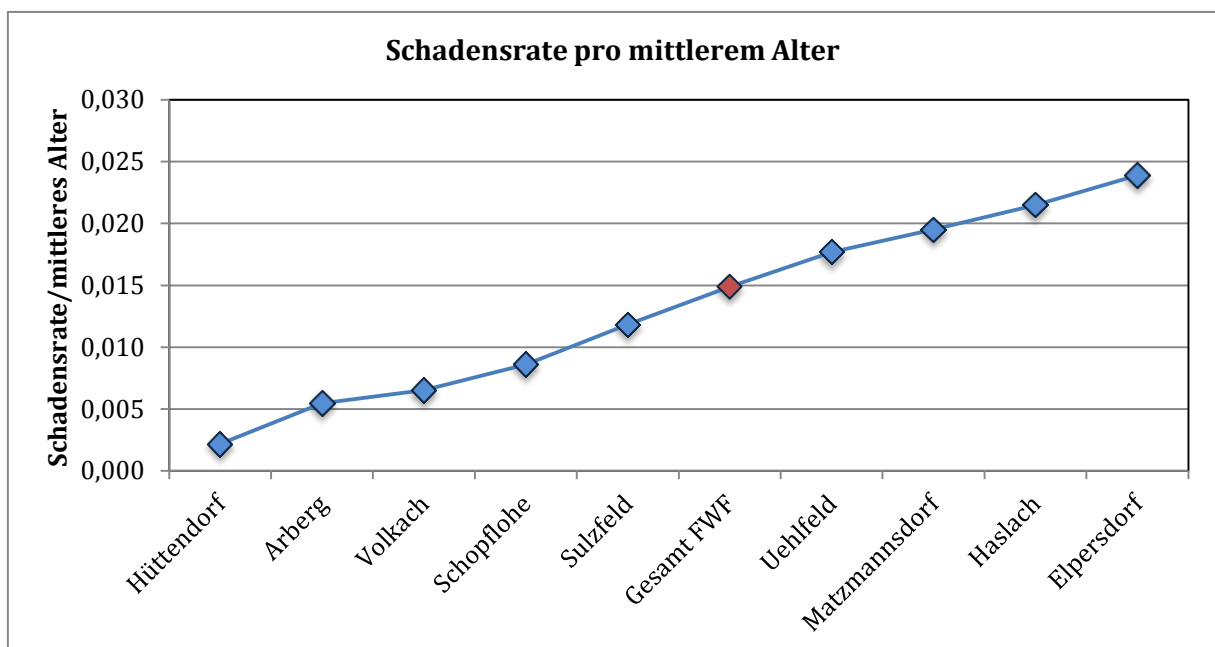


Abbildung 46: Kennzahl Schadensrate pro mittlerem Alter (Eigene Darstellung)

Für die Bewertung des Leitungsbestands der Versorgungsbereiche kann diese Kennzahl durchaus betrachtet werden, sollte jedoch nicht als alleiniges Entscheidungsmerkmal gelten.

6.3.2 Vergleich mit externen Kennzahlen

Aufgrund der modifizierten Kennzahlen und der Aufgliederung des Verbandsgebiets lassen sich die Ergebnisse der Strukturmerkmale und Kennzahlen nur bedingt mit anderen externen Benchmarking Ergebnissen vergleichen.

Dennoch können die Ergebnisse anderer Kennzahlenergebnisse zur Plausibilitätsprüfung und zur Orientierung der Größenbereiche eingesetzt werden. Hierfür werden die letzten Ergebnisse des Benchmarkings von FWVU der Firma *aquabench* zu Grunde gelegt.

Die Unternehmen die am Kennzahlenvergleich des externen Benchmarkings teilgenommen haben, lassen sich mit ihrer Struktur größtenteils gut mit der FWF sowie einzelnen VB vergleichen. Leitungslängen, Leitungsalter sowie die Anteile an Graugussleitungen weisen ähnliche Merkmalsverteilungen auf wie bei den untersuchten VB.

Das Benchmarking der FWVU zum Punkt Schadensraten von Zubringerleitungen zeigt Ergebnisse in verschiedenen Untersuchungszeiträumen. Der Mittelwert von 0,5 Schäden pro 100 Kilometern ist sehr gut vergleichbar mit dem Mittelwert der FWF Kennzahlenergebnisse, der bei 0,55 [n/100 km] liegt. Die Werte der einzelnen VB liegen damit in einem durchaus realistischen Bereich. Im internen Vergleich liegen die Werte der Leitungsschäden aller VB unter eins. Der technische Zustand des Verteilungssystems bezogen auf Leitungsschäden kann damit im externen Vergleich als sehr gut bewertet werden.

Die Ergebnisse zur Kennzahl der realen Wasserverluste pro Leitungslänge aus dem Benchmarking der FWVU, lassen sich ähnlich gut mit denen der Versorgungsbereiche vergleichen. Das arithmetische Mittel der letzten Jahre liegt bei den externen Ergebnissen zwischen -0,02 und +0,02. Die Ergebnisse der Versorgungsbereiche ergaben ebenfalls einen Mittelwert von 0,02 und einen Maximalwert von nur 0,03. Dieser Vergleich zeigt, dass die berechneten Wasserverluste, basierend auf der Wassermengenbilanz und dem entsprechenden Berechnungsansatz, in einem durchaus realistischen Bereich liegen.

Als dritte Kennzahl für einen externen Abgleich wird die Rehabilitationsrate betrachtet. Die Ergebnisse des Aguabench-Benchmarking haben gezeigt, dass es bezüglich der Reha-Rate innerhalb der FWVU sehr große Unterschiede gibt, wobei ein Großteil eine sehr geringe Rate aufweist. Gerade einmal drei der zwölf betrachteten FWVU erreichen eine Rate von > 0,8 Prozent.

Unter Berücksichtigung, dass in fünf der neun VB keine Reha stattgefunden hat, liegt das arithmetische Mittel immer noch bei 0,45 Prozent und damit über dem Mittelwert der externen Ergebnisse. Der FWF Wert bezogen auf das Verbandsgebiet liegt bei 0,97 Prozent und ist am oberen Ende der Gesamtergebnisse einzuordnen. Für den internen Vergleich der VB können daher der eigene Mittelwert sowie die Rate des Verbandsgebiets als Vergleichsgrößen genutzt werden.

Die drei Beispiele haben gezeigt, dass die Kennzahlenergebnisse der VB trotz eines größeren Betrachtungszeitraums in gewissem Maße mit den Kennzahlen der FWVU vergleichbar sind. Es wird ebenfalls deutlich, dass sie unabhängig vom internen Vergleich insgesamt positiv zu bewerten sind.

6.3.3 Kennzahlenauswertung der Versorgungsbereiche

Die Auswertung der Ergebnisse stützt sich auf die grafische und tabellarische Darstellung in Anhang C, wobei jeder VB eine eigene Auswertung entsprechend dem in der Methodik beschriebene Prinzip erhält. Zur Beurteilung der Ergebnisse werden die Einzelwerte der Strukturmerkmale und Kennzahlen im Vergleich zum arithmetischen Mittelwert und bekannten Grenzwerten nach DVGW beurteilt. Anhang C ist aufgrund datenschutzrechtlicher Gründe in dieser Version nicht enthalten.

Volkach

Die Kennzahlenauswertungen zeigen, dass die Werte des Versorgungsbereichs Volkach im Vergleich zu den Mittelwerten und ebenso im Verhältnis zu den empfohlenen Grenzwerten sehr gut abschneiden. Die Schadensrate sowie die realen Wasserverluste liegen deutlich unterm Mittelwert. Die geringe Schadensrate ist durchaus darauf zurückzuführen, dass im VB Volkach aktuell keine Leitungen der Werkstoffgruppe GG 3a und das mittlere Leitungsalter mit ca. 37,5 Jahren ebenfalls deutlich unter dem Mittelwert liegen. Hinzu kommt die verhältnismäßig hohe Reha-Rate von knapp einem Prozent pro Jahr, die maßgeblichen Anteil am guten Gesamtergebnis hat. Volkach erreicht zudem den Maximalwert bei der Kennzahl der nachhaltigen Reha-Rate.

Als mittelgroßer VB und mit einem Gesamtleitungsanteil von über 10 Prozent ist Volkach ein wichtiger Bestandteil des gesamten Verbandsgebiets. Ausgehend von den Kennzahlenergebnissen besteht kein akuter Handlungsbedarf bezüglich Leitungsrehabilitation. Eine Fortführung der Maßnahmen im angemessenen Umfang bzw. bei identifizierten Leitungsabschnitten ist allerdings empfehlenswert. Im Hinblick auf potentielle Neuanschlüsse sind, bei einer Ausschöpfung am Spitzentag von lediglich 65 Prozent, keine Engpässe bezüglich der Wassermenge oder ein Bedarf an neuen Verbundleitungen zu erwarten. Der Metermengenwert zeigt eine hohe Nutzungsintensität im Vergleich zum Mittelwert. Im Sinne gleicher strukturräumlicher Gegebenheiten, ist jedoch eine Vergleichbarkeit zu den anderen VB gegeben.

Sulzfeld

Sulzfeld ist der größte und damit wichtigste VB für die FWF. Hier wurde mit einer Reha-Rate von knapp zwei Prozent in den letzten Jahren der größte Aufwand für Rehabilitation betrieben. Der Vergleich der mittleren Schadensraten untereinander, der Wert der realen Wasserverluste sowie das mittlere Leitungsalter, welches aktuell unterm Durchschnitt liegt, zeigen die positiven Effekte der Investitionen. Aufgrund der Größe des VB hat die hohe Reha-Rate einen großen Beitrag am Anteil der Gesamtrehabilitation des Verbandsgebietes. Der Anteil an Graugussleitungen ohne ZM mit 13,3 Prozent zeigt, dass weitere Rehabilitationsmaßnahmen zu erwarten sind. Im Vergleich zum VB Volkach ist aufgrund der höheren Verlust- und Schadensrate die Kennzahl der nachhaltigen Rehabilitation geringer. Eine gezielte Fortführung der Reha-Maßnahmen im VB Sulzfeld ist in jedem Fall sinnvoll und kann in Abstimmung mit anderen Reha-Bedarfen erfolgen.

Die geringe Ausschöpfung der rechtlich gesicherten Wasserressourcen ist u.a. auf die aktuelle Vertragslage mit dem Bezugspartner WFW sowie auf die großen Eigenkapazitäten zurückzuführen. Die in den nächsten Jahren auslaufenden Verträge und die aktuelle Umstellung der Betriebsführung innerhalb des VB werden in diesem Bereich zu einer Veränderung führen.

Die Wasserbedarfsprognose zeigt ebenfalls, dass bei einer maximalen Zunahme inklusive Neuanschlüssen trotz veränderter Aufteilung des Dargebots eine jährliche Auslastung von ca. 71 Prozent nicht überschritten würde. Dennoch könnten sich gewisse Neuanschlüsse auf die Planung des Leitungssystems auswirken.

Uehlfeld

Im VB Uehlfeld, mit ähnlicher Größe wie der VB Volkach, zeigt sich in der Auswertung ein im Verhältnis gesehen etwas schlechteres Bild. Das über dem Durchschnitt liegende Leitungsalter sowie die Tatsachen, dass in den letzten 10 Jahren keine Rehabilitation stattgefunden hat, können durchaus als Gründe für die höhere mittlere Schadensrate von 0,75 angenommen werden. Vor allem im letzten Betrachtungszeitraum 2015 weist Uehlfeld im Verhältnis zum Mittelwert eine erhöhte Schadensrate auf. Die absolute Länge an Graugussleitungen ohne ZM ist mit ca. 2,5 Kilometern eher gering. Eine gezielte Rehabilitation von ausgewählten Leitungsabschnitten kann daher erforderlich sein.

Uehlfeld ist der einzige VB bei dem eine Ausschöpfung der rechtlich gesicherten Wasserressourcen am Spitzentag mit 113 Prozent theoretisch überschritten wird. Der tägliche Spitzenfaktor absolut (über die letzten 10 Jahre) liegt ebenfalls deutlich über dem Durchschnitt, wodurch dem Bedarf einer guten Speicherung bzw. eines guten Verbund- und Ausgleichssystems eine sehr hohe Bedeutung zukommt. Für diesen VB ist es daher empfehlenswert, bei zukünftiger Planung eine Ausweitung des Ressourcendargebots in Betracht zu ziehen. Die Verbundleitungen und Redundanzen sind in diesem Zusammenhang ebenso gesondert zu berücksichtigen.

Die Wasserbedarfsprognose hat gezeigt, dass nur von einer geringen absoluten prognostizierten Zunahme des Wasserbedarfs bis zum Jahr 2040 inkl. Neuanschlüssen auszugehen ist. Die Ressourcenausschöpfung erreicht hierbei bereits mehr als 80 Prozent. Es ist daher zu prüfen, ob die Ausschöpfung Einfluss auf die Planung im Verteilungssystem haben kann.

Hüttendorf

Mit einem mittleren Leitungsalter von 37,2 Jahren ist der VB Hüttendorf der Jüngste. Anhand der Ergebnisse ist auch hier eine Korrelation zwischen dem Anteil von Graugussleitungen und der Schadensrate zu erkennen. Beide Werte fallen jedoch sehr gering aus. Der junge und schadensunauffällige Zustand der Leitungen erklärt, weshalb in diesem VB bisher noch keine größeren Reha-Maßnahmen durchgeführt wurden.

Einer der wenigen auffälligen Werte ist der reale Wasserverlust. Im Fall von Hüttendorf sind die erhöhten Verluste v.a. auf Abgrenzungsfehler zurückzuführen. Diese können u.a. durch den großen Wasserdurchsatz (Durchleitung zum VB Sulzfeld) und den damit verbundenen Schwankungen entstehen (vgl. hier auch Wassermengenbilanz). Die anderen Kennzahlenwerte verhalten sich hingegen sehr unauffällig, weshalb eine Rehabilitation nicht zwingend erforderlich ist.

Die Ausschöpfung der rechtlich gesicherten Wasserressourcen sowie der tägliche Spitzenfaktor sollten hier grundsätzlich im Zusammenhang mit Sulzfeld und dem gesamten Angebot der WFW betrachtet werden. Die hier nur theoretisch festgelegte Verteilung des Bezugsrechtes der WFW orientiert sich an den Abgabemengen der letzten Jahre und ist nicht eindeutig zu trennen. Hierdurch ergibt sich für Hüttendorf ggf. ein größeres Dargebot als aktuell angenommen, was in der WBP teilweise berücksichtigt wird. Nach Umstellung des Mischungsverhältnisses im WW-Sulzfeld und nach Neuverhandlung der Wasserlieferungsverträge (2023) ist abzuwarten, wie

sich Angebot und Nachfrage entwickeln. Wie der Wasserbedarfsprognose zu entnehmen, besitzt der VB Hüttendorf generell viele Möglichkeiten für potentielle Neuanschlüsse von Ortschaften oder Gemeinden. Hierzu zählt ebenfalls eine eventuelle Kooperation mit der Markt-Erlbacher Gruppe.

Ein etwaiger Ausbau des Verteilungssystems ist daher trotz aktuell gutem Leitungsbestand nicht auszuschließen.

Elpersdorf

Im mengen- und flächenmäßig zweitgrößten VB Elpersdorf liegen die Kennzahlen zur durchschnittlichen Schadensrate sowie den realen Wasserverlusten deutlich über dem Mittelwert. Der Wert einer niedrigen Schadensrate nach DVGW wird jedoch mit dem Durchschnittswert nicht überschritten. Die hohen realen Wasserverluste lassen sich nicht allein durch Schadensfälle erklären. Während in einzelnen Jahren die Verluste eindeutig Rohrbrüchen oder Baumaßnahmen zuzuordnen sind, können Scheinverluste und Abgrenzungsfehler nicht ausgeschlossen werden. Elpersdorf hat die meisten Verbindungen zu anderen VB und somit eine sehr komplexe Zonen- und Bereichsbilanzierung.

Mit ca. 12 Prozent ist im VB Elpersdorf ein wesentlicher Anteil der noch vorhandenen Graugussleitungen verlegt. Anhand der Reha-Rate ist zu erkennen, dass bereits mit Rehabilitationsmaßnahmen begonnen wurde, diese im 10-Jahresmittel jedoch gering ausfallen. Die gezielte Fortführung der Reha-Maßnahmen in diesem VB ist in jedem Fall empfehlenswert.

Bei der Bewertung der Ressourcenauslastung am Spitzentag sowie dem täglichen Spitzenfaktor besteht die Schwierigkeit, die Bezugsmengen der RBG zwischen den VB Elpersdorf, Arberg und Haslach eindeutig aufzuteilen. Für die Wasserbedarfsprognose ist ein klarer Anstieg des Bedarfs zu erkennen. Bei maximaler Zunahme inklusive Neuanschlüssen bleibt nach aktueller Aufteilung der Bezugsrechte auf die Jahreswassermengen ein Spielraum von über 20 Prozent. Im Fall von Neuanschlüssen sind ggf. Erweiterungen im Rohrleitungssystem zu planen.

Haslach

Der VB Haslach umfasst im südlichen Bereich ebenfalls einen Teil des alten Leitungsbestands aus den Anfängen der FWF. Der aktuelle Anteil von ca. 14 Prozent an Graugussleitungen ohne ZM, kann zum größten Teil auf diesen Abschnitt zurückgeführt werden.

Dementsprechend liegt die gemittelte Schadensrate deutlich über dem. Die Leitungsrehabilitation hat daher bereits in den letzten 10 Jahren mit einem Schnitt von knapp einem Prozent stattgefunden. Der Neubau von Leitungen ist u.a. auch am geringen mittleren Leitungsalter von nur 37 Jahren zu erkennen. Die Wasserbilanz ließ sich im VB Haslach verhältnismäßig gut abgrenzen. Die realen Wasserverluste liegen in diesem Fall unter dem Mittelwert jedoch höher als in vergleichbaren VB Volkach oder Uehlfeld. Dieser Wert passt durchaus zur gemittelten Schadensrate.

Die Rehabilitation der betroffenen Leitungsabschnitte sollte ausgehend von der Kennzahlenauswertung im entsprechenden Umfang beibehalten werden, um die Schadensrate und realen Verluste weiter zu reduzieren.

Die Ausschöpfung der gesicherten Wasserressourcen reichte auch im VB Haslach im Jahr 2015 an nahe 100 Prozent. Mit Verbundleitungen zu drei benachbarten VB ist die Verbundsituation des Versorgungsbereichs jedoch unbedenklich. Bezüglich der Gesamtwasserressourcen und der Auslastung am Spitzentag sind ebenfalls die Bezugsrechte aus der Eigenwasserentnahme sowie

den Mengen der BRW und RBG zu beachten, welche sich zwischen verschiedenen VB aufteilen. Die Bedarfsprognose ohne Neuanschlüsse geht von einem sehr leichten Anstieg aus. Bei dem Szenario mit Neuanschlüssen wird ein höherer Bedarf angenommen. Es bleibt eine Variabilität von ca. 28 Prozent bezogen auf die Jahreswassermengen. Von einem Ausbau oder einer Erweiterung des Leitungssystems ist derzeit nicht auszugehen.

Matzmansdorf

Auf Basis der Kennzahlenauswertung schließt der VB Matzmansdorf eindeutig am schlechtesten ab. Die Ergebnisse im Spinnendiagramm zeigen, dass die Werte der Schadensrate, der realen Wasserverluste, des mittleren Alters sowie der prozentuale Anteil an Graugussleitungen den Maximalwert aller Ergebnisse darstellen. Ein deutlicher Zusammenhang ist hier zwischen Alter und Anteil an Graugussleitungen sowie der erhöhten Schadensrate zu erkennen. Hinzu kommt, dass in diesem VB in den letzten 10 Jahren keine Rehabilitation der Leitungen erfolgte.

Die verhältnismäßig geringen Mengen der Gesamtwasserabgabe sowie der geringere Leitungslängenanteil relativieren zwar das Ausmaß der Kennzahlenergebnisse, eine genaue Betrachtung zur Einbeziehung von Leitungsabschnitten in die Rehabilitationsplanung wird allerdings dringend empfohlen.

Das Eigenwasserdargebot wurde an bisherigen Spitzentagen nur zu 70 Prozent genutzt und der tägliche Spitzenfaktor liegt ebenfalls unterm Mittelwert. Die Wasserprognose bis 2040 geht von keinen Neuanschlüssen und einem sehr geringen Bedarfsanstieg aus.

Arberg

Der kleinste VB Arberg weist relativ gute Kennzahlenwerte auf. Das mittlere Leitungsalter (38 Jahre), die niedrige Schadensrate sowie die Abwesenheit von Graugussleitungen (GG 3a) erklären den Verzicht der Rehabilitation in den letzten Jahren.

Auffällig in diesem Zusammenhang sind die erhöhten realen Wasserverluste. Grund hierfür ist die schwierige Abgrenzung der Fremdbezugsmenge und der tatsächlichen Einspeisung in den VB. Des Weiteren werden die realen Verluste auf einen sehr geringen Leitungsbestand von nur 21 Kilometern bezogen. Auf diesem Abschnitt befinden sich ein Pumpwerk und zwei HB in denen es zu Zählerschwankungen kommen kann. Zudem wird ein großer Teil des fremdbezogenen Wassers weiter Richtung VB Haslach geleitet. Die Leitungslänge ist somit nicht äquivalent zum Wasserdurchsatz, weshalb das Ergebnis nur eine geringe Aussagekraft hat.

Die Ressourcenauslastungen am Spitzentag sowie im Jahresschnitt werden nicht erreicht. Bis zum Jahr 2040 wird von einem gleichbleibenden bis abnehmenden Wasserbedarf ausgegangen. Neuanschlüsse sind derzeit unwahrscheinlich, weshalb ein Ausbau des Leitungsbestands ebenfalls nicht zu erwarten ist. Zur besseren Erfassung der Eingangswassermengen in den VB ist der Einbau eines zusätzlichen Zählers beim Schacht Eybburg zu empfehlen.

Schopflohe

Die Ergebnisse im VB Schopflohe zeigen ein ähnliches Bild wie beim VB Arberg. Bezogen auf Größe und Struktur sind diese beiden zugleich die einzigen echten Vergleichspartner. Im Vergleich zu Arberg ist der Altersdurchschnitt um ca. 10 Jahre höher, gleichzeitig die Schadensrate zwar *unterm* Mittelwert aber höher als beim VB Arberg.

Die hohen realen Wasserverluste lassen sich ebenfalls im Zusammenhang mit den hohen Durchleitungsmengen Richtung Haslach erklären. Hierdurch können sich die realen und theoretischen Fehler erhöhen. Hinzu kommt eine permanente Abweichung zwischen Einspeisung und Abgabe, was ebenfalls auf Messfehler oder interne Bilanzabweichungen im VB zurückzuführen ist. Insgesamt sind die Werte daher nicht zwingend auf den technischen Zustand der Leitungen zurückzuführen, weshalb eine Rehabilitation nur bei klar identifizierbaren Leitungsabschnitten empfohlen wird.

Die Kennzahl bezogen auf die Ausschöpfung der Ressourcen am Spitzentag liegt mit ca. 85 noch im Bereich des Mittelwerts und unter 100 Prozent. Die Wasserbedarfsprognose zeigt eine sehr große Spreizung zwischen abnehmender und leichter bzw. hoher Zunahme mit Neuanschlüssen. Bezogen auf die verhältnismäßig geringen Gesamtwasserabgaben ist die Abweichung mit geringerer Gewichtung einzuordnen. Es wird davon ausgegangen, dass die Stadt Dinkelsbühl sowie deren Ortsteile nach wie vor unabhängig bleiben, weshalb nicht von einer Umstrukturierung des Verteilungssystems auszugehen ist.

6.4 Risikobewertung

Bei der Risikoanalyse wird das über 1.100 Kilometer lange Leitungssystem mit den über 2.100 Leitungsabschnitten unter Anwendung der definierten Bewertungskriterien und der festgelegten Risikoberechnung im GIS bewertet.

Die Darstellung und Beurteilung der Ergebnisse erfolgt für jeden Versorgungsbereich in einem eigenen Kartenausschnitt, um diese auf Ebene der VB mit den Kennzahlenergebnissen vergleichen und ggf. Ausschnitte detaillierter betrachten zu können. In Abbildung 57 bis Abbildung 66 im Anhang D sind die Ergebnisse in Form von einzelnen Kartenausschnitten dargestellt.

Neben der rein grafischen Auswertung kann die Risikobewertung in verschiedenen tabellarischen Ausführungen bewertet werden. Hieraus ergibt sich die sogenannte Prioritätenliste bzw. eine Art Mengengerüst.

Die nachfolgenden Abschnitte gehen zunächst ein auf die Anwendung der Bewertungskriterien, die Risikoanalyse sowie auf die grafische und tabellarische Auswertung.

6.4.1 Anwendung der Risikoanalyse

Ausschlaggebend für die Anwendbarkeit und Durchführung einer Risikoanalyse auf das Leitungssystem sind u.a. die Datenverfügbarkeit sowie deren Qualität. Im Fall des FWF Datenbestandes konnte bereits auf eine große Menge digitalisierter Daten in guter bis sehr guter Qualität zurückgegriffen werden.

Für die genaue Definition der Bewertungskriterien sowie die Festlegung der Wertebereiche sind weitere Informationen u.a. aus der generierten Schadensstatistik, der Wasserbedarfsprognose sowie Erfahrungswerte des Unternehmens einbezogen worden.

Zur Anwendung der definierten Bewertungskriterien wurde der Datenbestand mit weiteren Informationen ergänzt. Bestehende Daten wurden zudem auf Plausibilität und Qualität geprüft. Nach Aufbereitung bestehender Dateninformation wie Verlegejahr, Querschnitt, Werkstoff oder Korrosionsschutzstatus ließen sich diese gut weiterverarbeiten. Auf Grundlage des GIS-Datenbestands konnten die Eigenschaften der Leitungsabschnitte und somit die Generationseinteilung zum größten Teil klar bestimmt werden. Zur Bestimmung, ob es sich bei dem Leitungsabschnitt um eine Verbundleitung, redundante Leitung oder eine Leitung mit

größerer Abgabemenge handelt, bedurfte es einer umfangreicheren Datenaufbereitung. Während sich die Informationen zu Verbundleitung und Redundanz eindeutig ermitteln und gut anwenden ließen, konnten die Aussagen über die Durchflussmengen der Leitungen nur annäherungsweise über die Abgabemengen ermittelt werden. Zur detaillierteren Bestimmung wäre in diesem Fall eine hydraulische Rohrnetzrechnung besser geeignet, die jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht zur Anwendung kommt.

Insgesamt konnte bereits anhand vorhandener Daten eine gute Bewertung des Leitungsbestands bezüglich seines technischen Zustands sowie seiner technischer Relevanz durchgeführt werden.

Bezogen auf die Risikoberechnung haben Erfahrungen bisheriger Rehabilitationen und die Ergebnisse der Schadensstatistik wichtige Erkenntnisse geliefert. Es wurde festgelegt, dass bei der Rehabilitation ein Schwerpunkt auf der Identifikation von Leitungen mit einer aktuell hohen Schadensrate und Werkstoffgruppen mit einem hohen Schadenspotential liegen sollte. Durch die Gewichtung von Schadensrate mit der Werkstoffgruppe (vgl. Kapitel 5.5.4.3) bekamen diese Leitungsabschnitte eine höhere Priorisierung und bessere Differenzierung bzw. Aufgliederung. Die Verrechnung der Bewertungspunkte von Schadenseintritt und Schadensausmaß sowie der beschriebenen Gewichtung ergaben ein minimales Risiko von 2 und ein maximales Risiko von 18 Punkten. Die Verrechnungsergebnisse können gleichzeitig als Risikoklassen betrachtet werden, die für das aktuelle Ergebnis gelten und je nach Veränderung der Bewertungskriterien variieren.

Das Ergebnis der Risikoberechnung bzw. die Einteilung der Risikoklassen dient vorwiegend der Differenzierung und Priorisierung. Eine exakte „Risikogrenze“, ab welcher Risikoklasse ein Abschnitt unmittelbar oder mindestens zeitnah erneuert werden muss, ist nicht festgelegt. Der Zeitpunkt wird letztendlich über die in der unternehmensinternen Rehabilitationsstrategie festgelegte Rehabilitationsrate bestimmt. Innerhalb der jährlich festgelegten Erneuerungsrate können die identifizierten Leitungsabschnitte in Abhängigkeit ihrer Risikoklasse priorisiert aufgeteilt werden.

6.4.2 Auswertung der Versorgungsbereiche

Die Verrechnung der vergebenen Bewertungspunkte je Bewertungskriterium ergab unterschiedliche Risikoklassen. Anhand farblicher Untergliederung können die Leitungsabschnitte in der grafischen Ergebnisauswertung je Risikoklasse im Gesamtleitungsbild identifiziert und eingeordnet werden. Abbildung 57 zeigt eine Übersicht des Verbandsgebietes mit dem gesamten Leitungsbestand der FWF, Fremdleitungen sowie die Grenzen der Versorgungsbereiche. Diese Betrachtungsebene zeigt bereits, in welchen Bereichen sich Leitungsabschnitte mit einem erhöhten Risikopotential befinden.

Zur Bestimmung der Leitungslängen je Risikoklasse und Versorgungsbereich können das Mengengerüst in Tabelle 29 sowie die detaillierten Auswertungen der VB herangezogen werden. Nach der aktuellen Auswertung können mindestens die Leitungsabschnitte in einer Risikoklasse größer gleich 10 als potentielle Abschnitte für die Rehabilitationsplanung der nächsten 20 Jahre eingeplant werden. Diese Risikoklassen umfassen aktuell ca. 150 Kilometer, welche sich anhand der Risikoklassen oder anhand der Örtlichkeit, wie z.B. der VB, in etwa gleichgroße Abschnitte aufteilen lassen. Nachfolgend wird daher zunächst auf die einzelnen VB eingegangen.

Abbildung 58 zeigt den Ausschnitt vom VB **Volkach**, in dem die Leitungsabschnitte ebenso den Baulosabschnitten zugeordnet werden können. Es ist zu erkennen, dass der überwiegende Teil des Leitungsbestands in Volkach den unteren Risikoklassen zuzuordnen ist. Lediglich der Abschnitt IX/60 mit knapp einem Kilometer Länge AZ-Leitung DN 200 ist in der Risikoklasse 13. Dieses Bild spiegelt sehr gut das positive Kennzahlenergebnis des VB Volkach wider.

Der VB **Sulzfeld** besitzt wesentlich mehr Leitungsabschnitte, deren Risikobewertung in einer Klasse oberhalb von 10 liegen. In Abbildung 59 lassen sich u.a. der sogenannte Rodheimer-Ring sowie weitere Abschnitte identifizieren, die in die Rehabilitationsplanung mit aufgenommen werden sollten. Die vergrößerten Ausschnitte zeigen, dass es sich bei diesen Leitungsabschnitten hauptsächlich um Graugussleitungen der Generation ohne ZM handelt. Aus Tabelle 29 wird ersichtlich, dass ca. 60 Kilometer in einer Risikoklasse von 10 und größer einzuordnen sind. Dies bedeutet, dass im VB Sulzfeld nach wie vor ein größerer Bedarf an Leitungsrehabilitation besteht. Durch die überdurchschnittlich hohe durchgeführte Leitungserneuerung der letzten Jahre ließ sich bereits ein positiver Effekt im Kennzahlenvergleich erkennen, welcher durch die Fortsetzung der Reha-Maßnahmen unbedingt beibehalten werden sollte.

Im VB **Uehlfeld** ist ein größerer Abschnitt von ca. 10 Kilometern in der oberen Risikoklasse 14 sowie ein Abschnitt im Bereich der Risikoklasse 11 einzuordnen (vgl. Abbildung 60). Eine Berücksichtigung dieser Abschnitte in der Rehabilitationsplanung der nächsten 20 Jahre ist daher empfehlenswert.

An der Abbildung 61 und Tabelle 29 wird deutlich, dass der benachbarte VB **Hüttendorf** aktuell keine Leitungsabschnitte in einer potentiell hohen Risikoklasse aufweist. Bezüglich der Planung des Leitungsbaus sind in diesem VB ggf. potentielle Neukunden zu berücksichtigen (vgl. Wassermengenbilanz)

Ein anderes Bild ergibt sich aus den Ergebnissen vom VB **Elpersdorf** in Abbildung 62. Vor allem im Norden des VB fallen einige Leitungsabschnitte in eine hohe Risikoklasse. Der Leitungsbestand in diesem Bereich zählt u.a. zu den ersten Leitungsabschnitten der Gründerzeit der FWF. Neben den Abschnitten der höheren Risikoklasse gilt es gleichzeitig die kürzeren Abschnitte zu berücksichtigen und ggf. nochmals zu überprüfen. Insgesamt ergeben sich für den VB ca. 28 Kilometer in den Risikoklassen ab 10.

Wie in Abbildung 63 zu erkennen, fällt das Ergebnis im VB **Haslach** ähnlich dem des VB Elpersdorf aus. Während im Norden einige Abschnitte klar zum alten Leitungsbestand gehören, ist v.a. der Abschnitt BA IX/60-4 im Süden zu berücksichtigen, dessen versorgungstechnische Relevanz gegenüber I/6 höher einzustufen ist.

Der aus den Kennzahlenergebnissen schlecht abgeschnittene VB **Matzmansdorf** weist ebenfalls einige Kilometer Leitungsabschnitte auf, die sich im oberen Risikobereich zwischen 14 und 16 befinden (vgl. Abbildung 64). Die absolute Länge beträgt jedoch nur ca. 9 Kilometer und ist einem klaren Abschnitt im südwestlichen Teil des VB zuzuordnen. Ein Teil dieses Abschnitts stellt gleichzeitig den direkten Verbund zum VB Haslach sicher, weshalb die identifizierten Abschnitte in die kurz bis mittelfristige Rehabilitationsplanung einbezogen werden sollten.

In den Versorgungsbereichen **Arberg** und **Schopflohe** lässt sich ähnlich der Kennzahlenauswertung aktuell kein konkreter Rehabilitationsbedarf ausmachen (siehe hierzu Abbildung 65 und Abbildung 66). Da diese VB prinzipiell aus nur einem Hauptleitungsstrang bestehen ist es wichtig, die zukünftigen Schadensentwicklungen genau zu beobachten. Weitere Entwicklungen können ggf. in eine erneute Risikoanalyse einfließen. Dies gilt gleichfalls für alle untersuchten Leitungsabschnitte.

Die Risikobewertungen zeigen klare Unterschiede zwischen den VB bezüglich der Leitungsbewertung und damit dem Rehabilitationsbedarf. Innerhalb der Versorgungsbereiche lassen sich die Leitungsabschnitte nochmals nach den unterschiedlichen Risikoklassen bewerten.

6.4.3 Auswertung als Mengengerüst

Neben der visuellen Darstellung der Ergebnisse lassen sich die Leitungslängen nach Kriterien wie Werkstoffgruppe, Querschnitt oder Baulosen je Risikoklasse in tabellarischer Form aggregieren. Anhand der Aufgliederung nach Werkstoffgruppen lässt sich beispielsweise kontrollieren, welche aktuell verlegten Werkstoffe als erstes erneuert und somit ersetzt werden sollten.

Die Verknüpfung der Leitungslängen je Risikoklasse und weiterer Kriterien kann in sogenannten Mengengerüsten dargestellt werden. Die nachfolgende Tabelle 28 zeigt einen Ausschnitt des Mengengerüsts von Leitungslängen und Risikoklassen mit der Aufgliederung nach Baulosen und weiterer Untergliederung nach Leitungsquerschnitten. Anhand dieser Tabelle, die gleichzeitig eine Priorisierung auf Ebene der Baulos-Abschnitte darstellt, können einzelne Abschnitte genau identifiziert und geplant werden.

Tabelle 28: Ausschnitt Mengengerüst der Risikoanalyse – Baulose, Querschnitt und VB

| Risiko/ BA/ DN | VO | SF | UF | HD | ED | HL | MD | AB | SL | Summe |
|----------------|------------|---------------|---------------|----|--------------|--------------|--------------|----|----|---------------|
| 18 | | 921 | | | 1.715 | 1.597 | | | | 4.233 |
| I/6 | | | | | | 1.597 | | | | 1.597 |
| 200 | | | | | | 1.597 | | | | 1.597 |
| III/1 | | 616 | | | | | | | | 616 |
| III/C-4 | | 284 | | | | | | | | 284 |
| IV/9 | | | | | 1.715 | | | | | 1.715 |
| 200 | | | | | 1.715 | | | | | 1.715 |
| 17 | | 7.357 | | | 7.551 | 5.015 | | | | 19.923 |
| I/1 | | | | | 640 | | | | | 640 |
| I/6 | | | | | | 5.015 | | | | 5.015 |
| 125 | | | | | | 994 | | | | 994 |
| 150 | | | | | | 3.944 | | | | 3.944 |
| 200 | | | | | | 77 | | | | 77 |
| III/1 | | 135 | | | | | | | | 135 |
| III/A-3d | | 891 | | | | | | | | 891 |
| III/C-4 | | 3.719 | | | | | | | | 3.719 |
| IV/10b | | | | | 2.942 | | | | | 2.942 |
| IV/8 | | 754 | | | | | | | | 754 |
| IV/9 | | | | | 1.790 | | | | | 1.790 |
| V/2 | | | | | 2.178 | | | | | 2.178 |
| XI/C-7 | | 1.857 | | | | | | | | 1.857 |
| 16 | | 275 | | | 2.244 | | 1.535 | | | 4.054 |
| 15 | | 1.154 | | | | | 1.482 | | | 2.637 |
| 14 | | 14.152 | 9.042 | | 5 | | 4.379 | | | 27.578 |
| 13 | 936 | 5.671 | | | 6.607 | 647 | 1.305 | | | 15.166 |
| 12 | | 9.152 | 4 | | 216 | 9.500 | | | | 18.872 |
| 11 | | 14.571 | 11.761 | | 5.451 | 4.909 | | | | 36.692 |
| 10 | | 10.430 | 532 | | 5.020 | 825 | 1.195 | | | 18.002 |

Nach diesem Prinzip lassen sich die Ergebnisse nochmals prüfen und gezielt in eine Planung überführen. Während die Gliederung nach Bauabschnitten eine sinnvolle Planungseinheit ergibt, können Leitungsquerschnitt und -länge theoretisch für nachfolgende Planungsschritte erste Kostenabschätzungen ermöglichen. Diese kann z.B. anhand von festgelegten

Kostenschätzungswerten für Zubringerleitungen je laufenden Meter erfolgen. (MUTSCHMANN ET AL., 2014, S. 828) Anhand der Risikoklasse und Örtlichkeit können mehrere Abschnitte sinnvoll für VB zusammengestellt werden.

6.5 Rehabilitationsplanung

Wie bereits im Kapitel Instandhaltung und Rehabilitation beschrieben verfolgt die FWF eine vorbeugende und zustandsorientierte Instandhaltung. Die Rehabilitation des Leitungssystems erfolgt hierbei vorwiegend durch vollständige Leitungserneuerung. In der FWF-Unternehmensstrategie ist die Instandhaltung bzw. Rehabilitation zur Sicherstellung einer nachhaltigen Versorgungssicherheit, also zum Erreichen eines Soll-Zustands, bereits fester Bestandteil. Die Frage „Ist eine Rehabilitation notwendig?“ stellt sich daher nicht. Entscheidend hierbei ist die optimale Abfolge der Maßnahmen, um Versorgungsausfällen und Betriebsstörungen vorzubeugen.

Die Festlegung der Reha-Strategie, also des jährlichen Rehabilitationsumfangs innerhalb der FWF sowie das dafür vorgesehene Budget orientieren sich an den Erfahrungen der letzten Jahre, in denen bereits Reha-Maßnahmen im größeren Umfang durchgeführt worden sind. Es hat sich herausgestellt, dass sich eine Reha-Rate von ca. einem Prozent sowohl vom planerischen als auch vom finanziellen gut umsetzen lassen. Bezogen auf die Gesamtleitungslänge von über 1.000 Kilometern ergibt sich hieraus eine jährliche Leitungserneuerung von ca. 10-12 Kilometern.

Die Berechnung der strategischen Reha-Rate auf Basis der ermittelten technischen Nutzungsdauer je Werkstoffgruppe (vgl. Kapitel Schadensstatistik) und den zugehörigen Leitungslängen ergibt je nach Methodenansatz sehr unterschiedliche Ergebnisse. Nach dem Berechnungsansatz der Methode 2 im DVGW Merkblatt W 403, die hier nicht explizit beschrieben ist, ergibt sich eine langfristig gemittelte Reha-Rate von ca. 1,1 Prozent, was den internen Ansatz gut widerspiegelt. Unter diesem Aspekt können mit einer strategischen Reha-Rate von einem Prozent die Maßnahmen gleichmäßig aufgeteilt und Investitionsspitzen geglättet werden. Je nach Schadensentwicklung im Leitungsnetz kann es notwendig werden, die strategische Reha-Rate anzupassen. (DVGW W 403 (M), 04/2010, S. 14)

Ein weiteres Merkmal der Rehabilitationsphilosophie der FWF beruht darauf, gesamte, definierte Bauabschnitte bzw. funktional und sinnvoll zusammenhängende Leitungsstrecken in einer Baumaßnahme zu erneuern. Eine externe Studie hat zudem gezeigt, dass es unter Berücksichtigung der Kosten je Rohrleitungsrehabilitation i.d.R. wirtschaftlicher ist, größere bzw. mehrere Leitungsabschnitte je Reha-Maßnahme zu ersetzen. Die Anzahl benachbarter Rohrleitungsstücke je Austausch hängt wiederum von spezifischen Kosten der Rohrleitungsstränge ab. (ZIEGLER, 2012, S. 31) Für die verhältnismäßig größeren Baumaßnahmen ist diese Erkenntnis für Fernwasserleitungen nochmals relevanter. Die unternehmensinternen Ansprüche werden hierdurch bestärkt.

Aus den Ergebnissen des Kennzahlenvergleichs und der Risikoanalyse konnten sowohl Versorgungsbereiche mit Reha-Bedarf ausgewählt sowie exakte Leitungsabschnitte identifiziert werden. Für die langfristige bis mittelfristige Planung lassen sich daher ausgehend von der bestehenden Reha-Strategie und anhand der Risikobewertung, sinnvolle Abschnittsgrößen in geeigneter Reihenfolge definieren und planen.

Zu den durch Kennzahlen und Risikobewertung identifizierten VB gehören Sulzfeld, Uehlfeld, Elpersdorf, Haslach und Matzmansdorf. Nach den Ergebnissen der Risikobewertung sind in den Versorgungsbereichen Sulzfeld, Elpersdorf und Haslach einige Abschnitte in einer höheren bis

mittleren Risikoklasse zu finden. Abschnitte in Uehlfeld und Matzmannsdorf lassen sich in eine mittlere bis hohe Risikoklasse einordnen.

Der jährliche Erneuerungsumfang ergibt sich aus der Zusammenstellung von organisatorisch und wirtschaftlich sinnvollen Leitungsabschnitten und kann daher nicht starr auf 10 oder 11 Kilometer festgelegt werden. Wie in Tabelle 28 zu erkennen, können die Ergebnisse der Risikobewertung bereits nach den festgelegten Bauabschnitten und somit sinnvollen Erneuerungsabschnitten ausgewertet werden. Die Zusammenstellung von Planungsabschnitten für ein Jahr oder den Zeitraum von fünf Jahren kann sowohl anhand der Risikoklasse oder nach VB erfolgen. Angenommen es werden ca. 10 Kilometer pro Jahr erneuert, können für den Planungszeitraum bis 2040 mindestens die Leitungslängen der oberen Risikoklassen bis 10 oder 9 berücksichtigt werden. Angesichts der potentiellen Neukunden und ggf. benötigten Neuerschließungen sind auch für Neuverlegungen finanzielle und zeitliche Ressourcen einzuplanen.

Bezogen auf die Priorisierung sollte eine fortlaufende Beobachtung und Dokumentation von Schadensentwicklungen der Leitungen sowie anderer Einflussfaktoren erfolgen. Eine erneute Durchführung der Risikoanalyse kann beispielsweise alle fünf Jahre bzw. in angemessenen Zeitabständen erfolgen. Veränderte Schadensentwicklungen können eine Verstärkung oder Verschiebung der Priorisierung hervorrufen. Unter Berücksichtigung der aktuellsten Daten kann somit stets auf aktuelle Entwicklungen eingegangen werden

Ein weiterer Punkt der Rehabilitationsplanung ist die Auswahl des geeigneten Materials zur Leitungserneuerung. Anhand der gewachsenen Struktur des FWF-Leitungssystems sowie in Anlehnung an gesammelte Erfahrungswerte wird davon ausgegangen, dass für die Erneuerung von Fernleitungsabschnitten ausschließlich duktiler Guss mit Zementmörtelauskleidung und -Umhüllung eingesetzt wird. Auf eine Kosten-Nutzen-Analyse bezüglich der Materialwahl wird hier verzichtet. Für eine generelle Kostenabschätzung könnte mit Duktill-Gussleitungen kalkuliert werden.

7 FAZIT

Die hohe Versorgungssicherheit mit qualitativ und quantitativ hochwertigem Wasser soll auch in Zukunft gewährleistet sein. Hierzu bedarf es der stetigen Instandhaltung der unternehmenseigenen Infrastruktur. Die in der „FWF-Studie 2040“ eingebettete Masterarbeit beschreibt die Bewertungsmethode zur gezielten und priorisierten Identifikation des Rehabilitationsbedarfs im Verteilungssystem. Hauptbestandteile sind der Kennzahlenvergleich sowie die Risikobewertung der Rohrleitungen. Zusätzlich sind die WMB, die WBP sowie die Schadensstatistik für die erweiterte Betrachtung untersucht und ausgewertet worden. Der mehrdimensionale Bewertungsansatz ermöglicht, die Ergebnisse als Gesamtbild oder unabhängig voneinander zu betrachten.

Einblicke in das Benchmarking und die Kennzahlenwelt sowie Erfahrungsberichte der letzten Jahre haben gezeigt, dass Kennzahlenvergleiche ein sehr gutes Instrument zur Optimierung und Effizienzsteigerung für die WVU darstellen. Die Untersuchungen dieser Arbeit haben gezeigt, dass sich mit einer gezielten Auswahl von Kennzahlen auch verwertbare Aussagen zu Reha-Planung treffen lassen.

Mit der tabellarischen und grafischen Auswertung der Kennzahlen war es möglich, den technischen Zustand intern aber auch extern zu vergleichen. Befindet sich ein WVU, wie die FWF im externen Vergleich auf einem sehr hohen technischen und organisatorischen Niveau, kann der interne Vergleich zu einer weiteren Differenzierung und somit zur Optimierung beitragen. Durch die Auswertung der Kennzahlen eines einzelnen Versorgungsbereichs werden Wirkungsmechanismen und Zusammenhänge zur Gesamtsystementwicklung erkennbar. Bei einigen VB ließen sich hierdurch Korrelationen zwischen Leitungsalter, –material und Leitungsschäden ableiten. Anhand der visuellen Aufbereitung der Kennzahlen und Strukturmerkmale können die einzelnen VB gegenüber den anderen eingeordnet und gleichzeitig individuell bewertet werden. Für Maßnahmen wie der Rohrleitungsrehabilitation bietet der interne Kennzahlenvergleich eine erste effektive Möglichkeit, die Unternehmensbereiche mit erhöhtem Handlungsbedarf zu identifizieren. Auf dieser Ebene können die Ergebnisse im Zusammenhang mit anderen strategischen Unternehmensentscheidungen oder zukünftigen Entwicklungen wie der WBP betrachtet werden.

Der zweite Teil des Bewertungsansatzes befasst sich mit der Risikobewertung des Leitungssystems. Mit der Bildung von Risikoklassen werden Voraussetzungen geschaffen für die eindeutige Identifikation und Quantifizierung von Leitungsabschnitten für die Rehabilitationsplanung. In Verbindung mit der GIS-gestützten Datenverarbeitung können die Ergebnisse lokalisiert und im Kartenformat dargestellt werden.

Wie bereits in der Auswertung der Kennzahlen beschrieben, eignen sich nicht alle Kennzahlen gleichermaßen zur Beurteilung des Verteilungssystems. Es hat sich gezeigt, dass einige Kennzahlen und Strukturmerkmale nur durch Modifizierung eine sinnvolle Bewertung bzw. Beurteilung des technischen Zustands zulassen. Für die Kennzahlen und Risikobewertung gilt gleichermaßen, dass die Ergebnisse nur so gut sind wie die Eingangsdaten. Datenqualitätssicherung, Datenaufbereitung und das Wissen um die möglichen Fehlertoleranzen sind Voraussetzung für die richtige Ergebnisinterpretation.

Die Methode zur Bewertung und Ableitung der Rehabilitationsplanung greift auf eine Kombination verschiedener Regelwerke zurück. Mit dem Ziel die Ergebnisse anzuwenden, ist die Methode praxisorientiert, an Gegebenheiten der FWF und die Datenverfügbarkeit individuell angepasst. Letztendlich lässt sich die hier angewandte, als heuristische Methode einordnen. Obwohl im Fall der FWF sehr viele Informationen und Daten über das Rohrleitungssystem zur Verfügung stehen ist es kaum möglich, sämtliche die Leitungen und ihre Umgebung betreffenden Faktoren zu berücksichtigen.

Der Ergebnisabgleich hat ergeben, dass die Reha-Empfehlungen des Kennzahlenvergleichs durch die Risikobewertung bestätigt werden. Somit kann die Priorisierung der Reha-Planung auf beiden Ebenen erfolgen. Während sich die Kennzahlenergebnisse mit Faktoren auf VB-Ebene abgleichen lassen, berücksichtigt die Risikobewertung die detaillierte Ebene der Leitungen.

Ein Mehrwert entsteht somit durch die Kombination der beiden Betrachtungsebenen sowie die zusätzlichen Informationen aus WMB, WBP und Schadensstatistik. Gegenüber der reinen Risikoanalyse des Leitungssystems ergibt sich auf Ebene der VB eine zweite Betrachtungsebene die zusätzliche Möglichkeiten bietet, den aktuellen Zustand zu interpretieren, mit zukünftigen Planungen abzustimmen oder zu verknüpfen.

Aufgrund der anschaulichen Datenaufbereitung können die Ergebnisse für unterschiedliche Interessengruppen wie sachkundige Dritte, öffentliche Belange und insbesondere für die weitere interne Unternehmensplanung herangezogen werden. Sie lassen sich für unterschiedliche Planungsstadien nutzen, ggf. weiter konkretisieren oder bei Bedarf auf höherer Ebene aggregieren. Für zukünftige Nutzungen kann der Bewertungsansatz theoretisch mit aktuellen Daten erneut angewandt oder bei Bedarf angepasst werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRESA, E.; Cubillo, Francisca; Durante, Patricia; Hirner, Wolfram et al., 2006: Performance indicators for water supply services. (Manual of best practice). 2. ed., reprinted. IWA Publ. London.
- AQUABENCH, G., 2015: Benchmarking Fernwasserversorgung. Managementfazit FWF - Erhebungsjahr 2014. Hg. v. aquabench. Köln.
- AQUABENCH, G., 2016: Homepage aquabench GmbH - Benchmarking - Ziele und Methodik. AQUABENCH GMBH. Online verfügbar unter http://aquabench.de/index_2_0_10_d.html, zuletzt geprüft am 13.07.2016.
- BAYERISCHE STAATSMINISTERIUM, 2014: Eigenbetriebsverordnung (1987). EBV. Online verfügbar unter <http://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayEBV>true>, zuletzt geprüft am 01.07.2016.
- BIEBELRIECHTER, S., 2016: Abrechnungsdaten der Wasserabgaben. Interviewte Person: Biebelriechter FWF-Finanzverwaltung. Interview durch MATTHÉ, M. (11.10.2016). Uffenheim.
- BÖGE, M., 2016: Nachwuchsförderung in Sachen Rohrsanierung. In: *gwf Wasser - Abwasser* 157 (B 5399), S. 124.
- BOH-FWF; SLT GmbH; NOW; RBG; RMG; STW, 2015: Betriebs- und Organisationshandbuch WASSERWIRTSCHAFT. Teil 2: Wasserversorgung. Hg. v. FWF. FERNWASSERVERSORGUNG FRANKEN. Uffenheim.
- DIN EN 12502-1, 2004: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Hinweis zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speicherungssystemen - Teil 1: Allgemeines. Beuth Verlag. Berlin.
- DIN EN 12502-5, 2004: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Hinweis zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speicherungssystemen - Teil 5: Einflussfaktoren für Gusseisen, unlegierte und niedriglegierte Stähle. Beuth Verlag. Berlin.
- DIN EN 1560, 05/2011: Gießereiwesen - Bezeichnungssystem für Gusseisen - Werkstoffkurzzeichen und Werkstoffnummern. Beuth Verlag. Berlin.
- DUKTUS, 2014: Duktile Gussrohrsysteme für Trinkwasser. Handbuch. Hg. v. DUKTUS. Online verfügbar unter <http://www.duktus.com/de/startseite.html>.
- DVGW W 400-2 Technische Regel - Arbeitsblatt, 09/2004: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 2: Bau und Prüfung. DVGW. Bonn.
- DVGW W 400-3 Technische Regel - Arbeitsblatt, 09/2006: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV), Teil 3: Betrieb und Instandhaltung. DVGW. Bonn.
- DVGW W 1100 (M) Technische Mitteilung - Merkblatt, 03/2008: Benchmarking in der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung. DVGW, DWA. Bonn.
- DVGW W 410 Technische Regel - Arbeitsblatt, 12/2008: Wasserbedarf - Kennwerte und Einflussgrößen. DVGW. Bonn.

- DVGW W 403 (M) Technischer Hinweis - Merkblatt, 04/2010: Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserverteilungsanlagen. DVGW. Bonn.
- DVGW W 402 (A) Technische Regel - Arbeitsblatt, 09/2010: Netz- und Schadensstatistik - Erfassung und Auswertung von Daten zur Instandhaltung von Wasserrohrnetzen. DVGW. Bonn.
- DVGW W 396 (M) Technischer Hinweis - Merkblatt, 02/2011: Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten an Wasserrohrleitungen mit asbesthaltigen Bauteilen oder Beschichtungen. DVGW. Bonn.
- DVGW W 406 (A) Technische Regel - Arbeitsblatt, 01/2012: Volumen- und Durchflussmessung von kaltem Trinkwasser in Druckrohrleitungen – Auswahl, Bemessung, Einbau und Betrieb von Wasserzählern. DVGW. Bonn.
- DVGW W 400-1 (A) Technische Regel - Arbeitsblatt, 02/2015: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 1: Planung. DVGW. Bonn.
- DVGW W 402-B1 (A) Technische Regel - Arbeitsblatt, 03/2015: Netz- und Schadensstatistik; Erfassung und Auswertung von Daten zur Instandhaltung von Wasserrohrnetzen - Beiblatt 1: Unternehmensübergreifende Datenerhebung. DVGW. Bonn.
- DVGW W 400-3-B1 (A) Technische Regel - Arbeitsblatt, 08/2015: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV), Teil 3: Betrieb und Instandhaltung; Beiblatt 1: Inspektion und Wartung von Ortsnetzen. DVGW. Bonn.
- DVGW W 392 (A) Technische Regel - Arbeitsblatt, 12/2015: Wasserverlust in Rohrnetzen, Ermittlung, Wasserbilanz, Kennzahlen, Überwachung. DVGW. Bonn.
- DVGW W 1000 (A) Technische Regel - Arbeitsblatt, 01/2016: Anforderung an die Qualifikation und die Organisation von Trinkwasserversorgern. DVGW. Bonn.
- DVGW W 1100-2 (M) Technischer Hinweis - Hinweis, 02/2016: Definition von Hauptkennzahlen für die Wasserversorgung. DVGW. Bonn.
- DVGW W 1100-3 (M) Technischer Hinweis - Merkblatt, 02/2016: Strukturmerkmale der Wasserversorgung. DVGW. Bonn.
- Eternit, 1974: Druckrohre und Formstücke. 7. Aufl. Brüder Hartmann. Berlin.
- FWF, 2016: Unternehmenshomepage. Uffenheim. Online verfügbar unter <http://www.fernwasser-franken.de/Unternehmen/Unternehmensdaten.html>, zuletzt geprüft am 17.11.2016.
- FWF [A], 2016: Jahresabschluss 2015 und Lagebericht. Vorgelegt zur Werksausschusssitzung 2. Juni 2016. Hg. v. FWF. Uffenheim.
- FWF-Lovion-GIS: Datenbestand im Lovion GIS, zuletzt geprüft am 08.08.2016.
- GRAS, W.-D.; HEIN, H.; HEISE, G.; Jung, Manfred; Nöh, Manfred, 1983: Handbuch Gussrohr-Technik. Duktile Gussrohre und Formstücke. Bonner Universitäts-Buchdruckerei. Köln.
- HILBRANS, H., 2008: Werkstoffkunde. (VDI-Buch). 10., bearb. Aufl. Springer. Berlin u.a.
- INSUMMA, 2000: Bericht FWF-Studie 2020. Sanierung und Ausbau der Werksanlagen bis zum Jahr 2020. FWF. Uffenheim.

- KRÜGER, M., 2016: Entwicklung einer kriterienbasierten Bewertungsmethodik zum Vergleich von Varianten zukünftiger Aufbereitungsverfahren für das Wasserwerk Sulzfeld im Rahmen der Studie 2040 der Fernwasserversorgung Franken. Masterarbeit. Darmstadt.
- KRV, 2016: Wissensportal für Kunststoffrohrsysteme. Hg. v. Fachverband der Kunststoff-Industrie. KRV. Online verfügbar unter <http://www.wipo.krv.de/grundwissen/kunststofftypen/thermoplaste/polyvinylchlorid-pvc.html>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.
- LfU, 2010: Merkblatt Nr. 1.8/7: "Asbestzementrohrleitungen in der Wasserversorgung". Hg. v. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Augsburg.
- LFU-SCHULTHEISS, (Hg.), 2012: Ausgleich und Verbund in der Wasserversorgung in Nordbayern. (Fortschreibung der Studie der Regierung von Mittelfranken vom Juni 2005). BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LfU).
- LÖHNER, H., 2003: Benchmarking in der kommunalen Wasserversorgung Fachhochsch., Dipl.-Arbeit--Ansbach, 2003. (Controlling Forum - Wege zum Erfolg, 2). 1. Aufl. Eul. Lohmar.
- MUTSCHMANN, J.; STIMMELMAYR, F.; FRITSCH, P., 2014: Taschenbuch der Wasserversorgung. 16., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. 2014. Springer Vieweg. Wiesbaden.
- PARAŠKEVOV, B., 2004: Wörter und Namen gleicher Herkunft und Struktur. Lexikon etymologischer Dubletten im Deutschen. de Gruyter. Berlin.
- POHL, T., 2016: Notfallmanagement und Notfallszenarien im Verbundsystem - ARGE Nordbayern. Bericht der Arbeitsgruppe der Betriebsleiter. Hg. v. ARGE-Nordbayern. WFW. Nürnberg.
- RAUTENBERG, J., 2016: Studie 2020, Rohrleitungsbau, Rohrleistungsstatistik der FWF. Interviewte Person: Rautenberg Technische Leitung der FWF. Interview durch MATTHÉ, M. (05.08.2016). Uffenheim.
- REGIERUNG UNTERFRANKEN, B., 2010: Trinkwasser für Unterfranken. Vom Grundwasserschutz zur nachhaltigen Regionalentwicklung. 5. Aufl. Unter Mitarbeit von Axel Bauer, Peter Fritsch, Anne Jackel, Heiko Lukas, Dagmar Mußhoff, Martin Raetz und Heinrich Rall. REGIERUNG UNTERFRANKEN. Würzburg.
- RÖDL & PARTNER, G., 2000: Effizienz- und Qualitätsuntersuchung der kommunalen Wasserversorgung in Bayern (EffWB) 2001. Unternehmensvergleich mit Kennzahlensystem und Benchmarking Abschlussbericht für das Erhebungsjahr 2000. Hg. v. Rödl & Partner GbR, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Bayerischer Gemeindetag, Bayerischer Städtetag und DVGW Landesgruppe Bayern. BW VERLAG, NÜRNBERG.
- RÖDL & PARTNER, G., 2013: Effizienz- und Qualitätsuntersuchung der kommunalen Wasserversorgung in Bayern (EffWB) 2013. Unternehmensvergleich mit Kennzahlensystem und Benchmarking 5. Abschlussbericht für das Erhebungsjahr 2012. Hg. v. Rödl & Partner GbR, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Bayerischer Gemeindetag, Bayerischer Städtetag und DVGW Landesgruppe Bayern. BW VERLAG, NÜRNBERG.
- ROSCHER, H.; AHRENS, J.; RÖDIGER, S., 2015: Rehabilitation von Rohrleitungen. Sanierung und Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen. 3. Aufl. Bauhaus-Universitätsverl. Kromsdorf. Online verfügbar unter http://www.optnet.de/fileadmin/documents-optnet/Publikationen/2009_BuchmitRoscher.pdf, zuletzt geprüft am 11.07.2016.

- SAINT-GOBAIN, G., 2007: Wasser-Systemtechnik. Katalog: Rohre und Formstücke aus duktilem Gusseisen. Saint-Gobain Gussrohr. Saarbrücken.
- SCHMIDT, D., 2003: Trends, Benchmarks für die Rehabilitation und Bewertung von Wasserversorgungssystemen. Dargestellt am Beispiel der Landeshauptstadt Erfurt ; (125 Jahre Erfurter Zentralwasserversorgung) Techn. Univ., Diss.--Dresden, 2003. (Dresdner Beiträge zum Stadtbauwesen). Techn. Univ. Dresden.
- SEIDEL, H., 2016: Rohrleitungsbau in der FWF. Interviewte Person: Seidel Mitarbeiter der FWF. Interview durch MATTHÉ, M. (29.07.2016). Uffenheim.
- SONNENBERG, P., 2016: Megacity ohne Wasser. Videoblog: "Vámonos!". ARD. Online verfügbar unter <http://www.tagesschau.de/ausland/videoblog/vamonos/megacity-ohne-trinkwasser-101.html>, zuletzt aktualisiert am 12.04.2016, zuletzt geprüft am 09.12.2016.
- SORGE, C.; KÖNIG, D.; WALLERATH, M.; GALLINAT, M.; PETERSEN, J.; KESER, B. ET AL., 2012: Technisch-wissenschaftliche Neubewertung des Alterungs- und Ausfallverhaltens von Rohrleitungen in Wasserverteilungssystemen. Abschlussbericht zum DVGW Forschungsvorhaben W 6/03/07. Hg. v. IWW. RHEINISCH-WESTFÄLISCHES INSTITUT FÜR WASSER. Mülheim an der Ruhr.
- SORGE, H.-C., 2016: Schadensstatistik von Rohrleitungen. Interviewte Person: Sorge Bereich Wassernetze IWW. Interview durch MATTHÉ, M. (07.09.2016). Uffenheim/ Biebesheim a. Rhein.
- TROISDORF, E. B., 2005: Das Langzeitverhalten von PVC-U-Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung. Hg. v. Fachverband der Kunststoff-Industrie. KRV. Bonn. Online verfügbar unter http://www.kunststoff-museum.de/fileadmin/user_upload/bilder/berichte/berichte_2012/das_langzeitverhalten_von_pvc-u-rohren_mit_verschiedener_stabilisierung_1995.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2016.
- TZW, 2013: Veröffentlichung aus dem DVGW-Technologiezentrum Wasser. Handlungsstrategien bei sich ändernden Rahmenbedingungen. 60 Bände. E&B Engelhardt und Bauer. Karlsruhe.
- VBEW (Hg.), 2009: Wasserwirtschaft im Freistaat Bayern. VERBAND DES BAYERISCHEN ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V. GEHRIG. Merseburg.
- VKU, 2016: VKU Auswertungsbericht zur VKU-Mitgliederbefragung „Infrastruktur-erhalt und -finanzierung“. Unter Mitarbeit von Marcel Fälsch und Britta Ammermüller. Hg. v. Verband Kommunalen Unternehmen e.V. VKU. Online verfügbar unter <http://www.vku.de/wasser/>, zuletzt geprüft am 27.05.2016.
- WAVIN, 2016: Technisches Handbuch: Druckrohrsysteme für Gas, Wasser, kommunale und industrielle Abwässer, zuletzt geprüft am 10.10.2016.
- WERKAUSSCHUSS, F., 2015: Werkausschuttsitzung- N6 Nichtöffentlicher Teil FWF-Studie 2040 und Kundendialog. Hg. v. FWF. Uffenheim.
- ZIEGLER, C. (Hg.), 2012: Unterirdische Infrastruktur. Grundlagen zu Planung, Bauausführung, Instandhaltung und Sanierung unterirdischer Ver- und Entsorgungsnetze für Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. (Edition GWF, Bd. 5). GfW. Oldenburg-Industrieverl. München.

ANHANG A ERGEBNISSE DER WASSERMENGENBILANZ

Grafische Auswertung

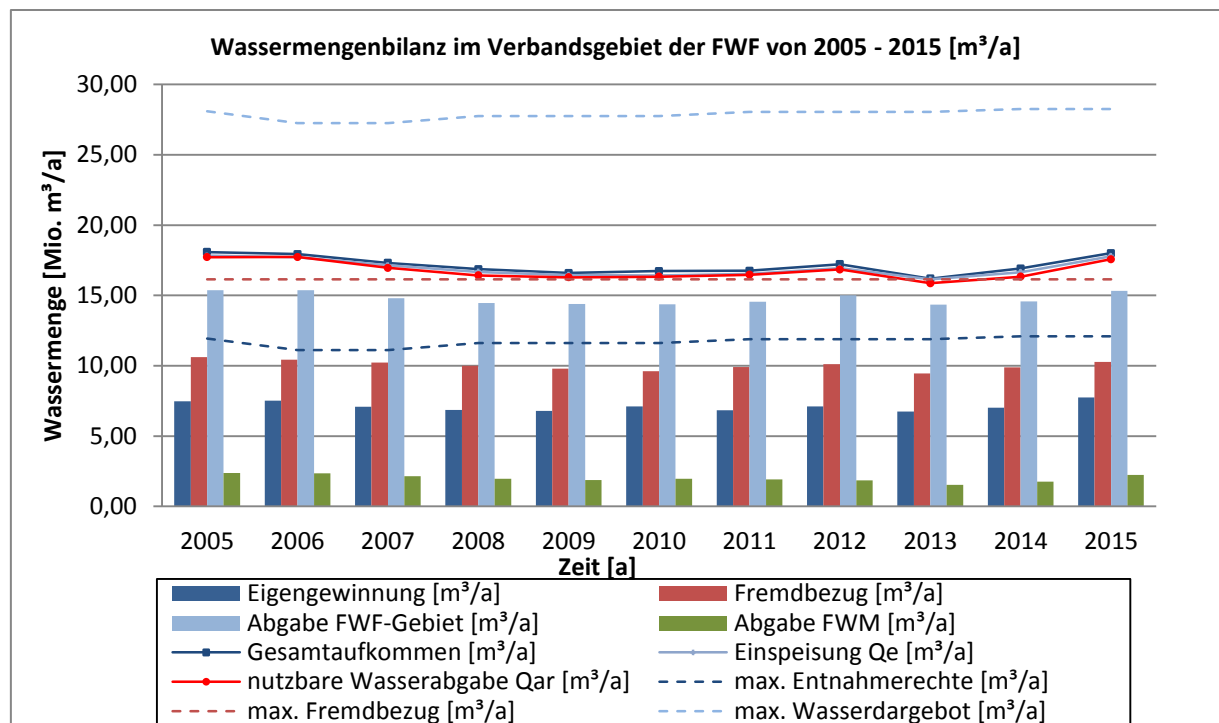


Abbildung 47: Wassermengenbilanz Verbandsgebiet FWF (Eigene Darstellung)

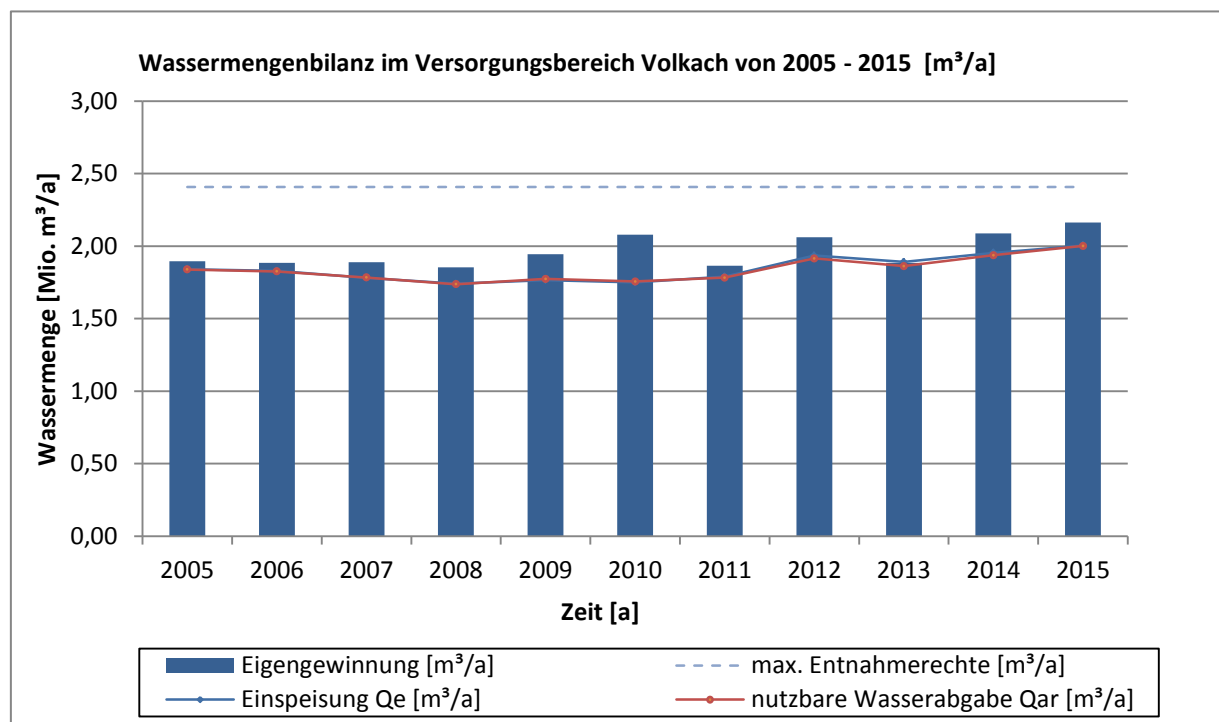


Abbildung 48: Wassermengenbilanz VB Volkach (Eigene Darstellung)

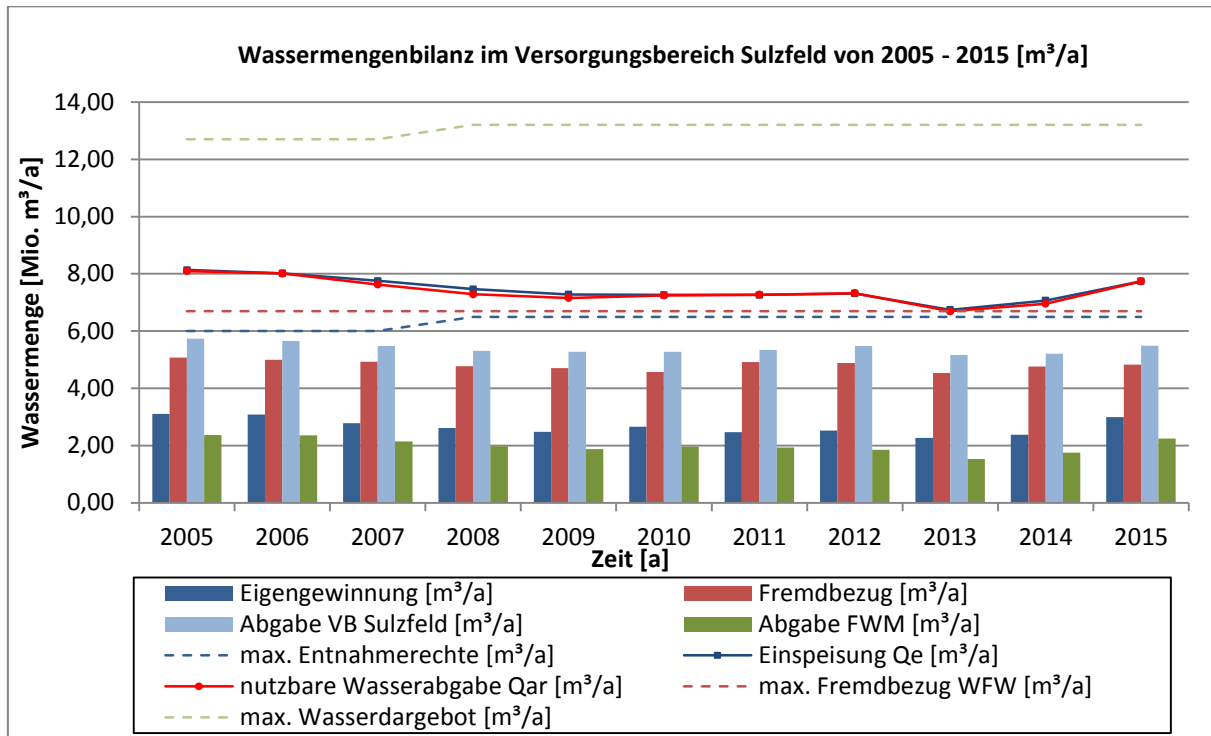


Abbildung 49: Wassermengenbilanz VB Sulzfeld (Eigene Darstellung)

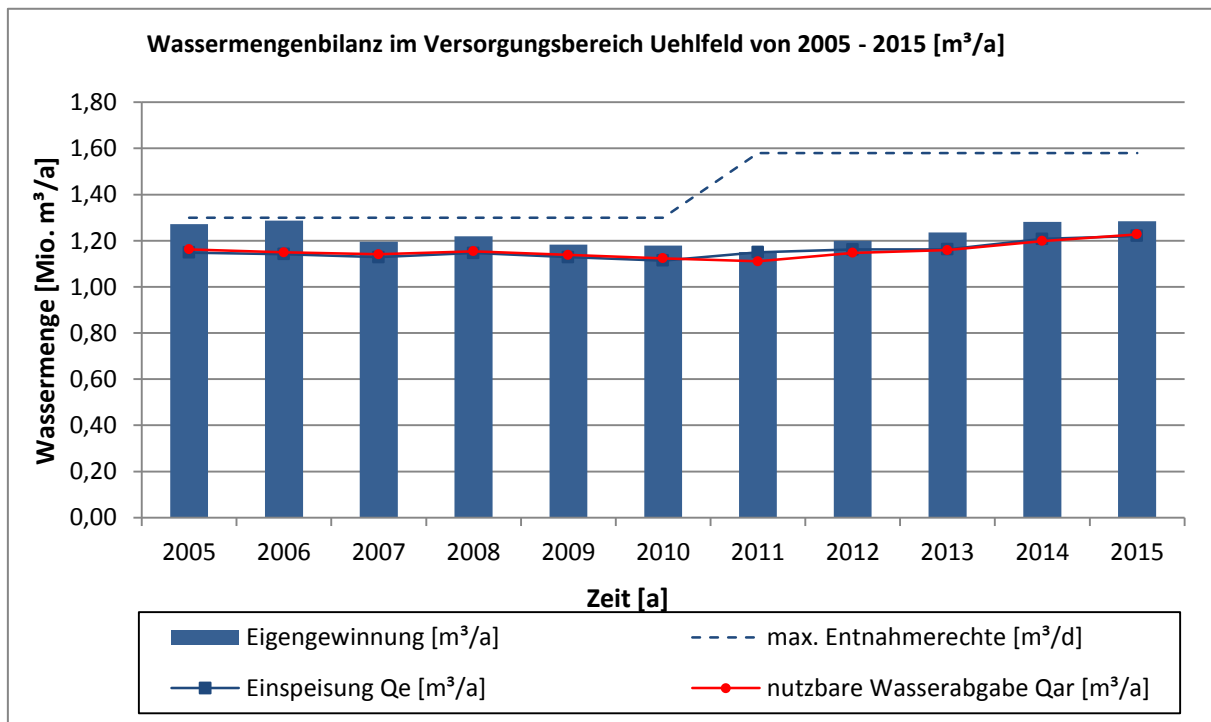


Abbildung 50: Wassermengenbilanz VB Uehlfeld (Eigene Darstellung)

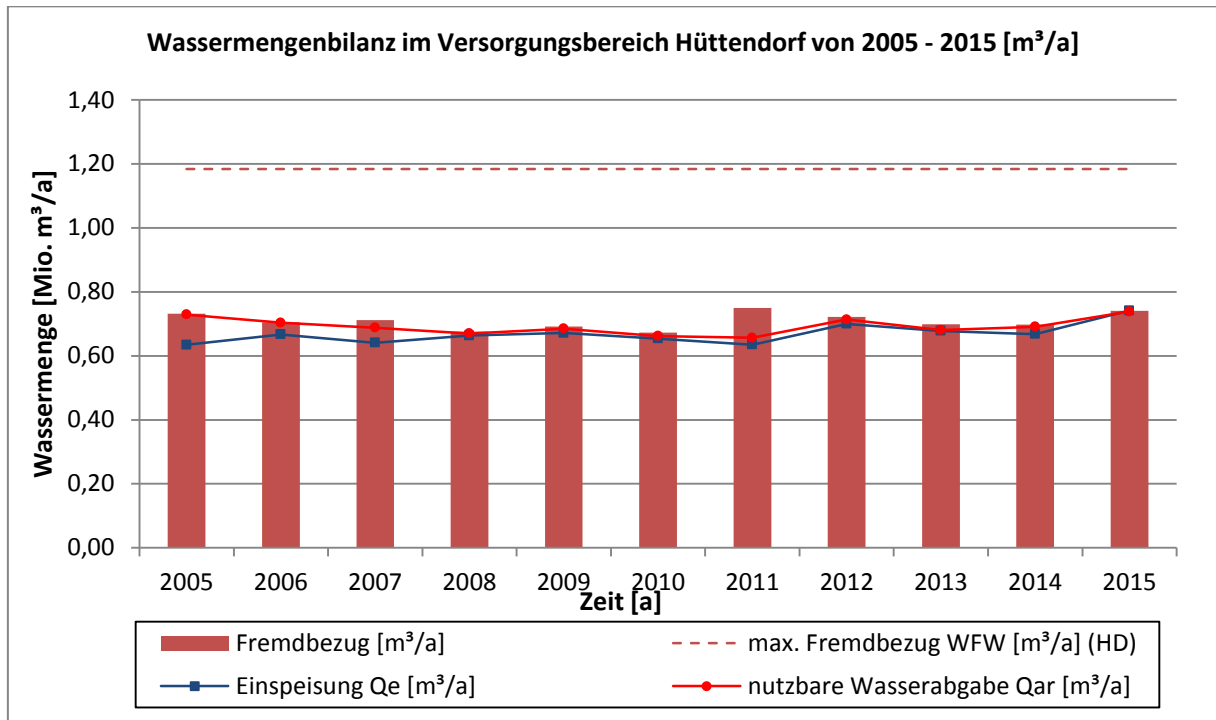


Abbildung 51: Wassermengenbilanz VB Hüttendorf (Eigene Darstellung)

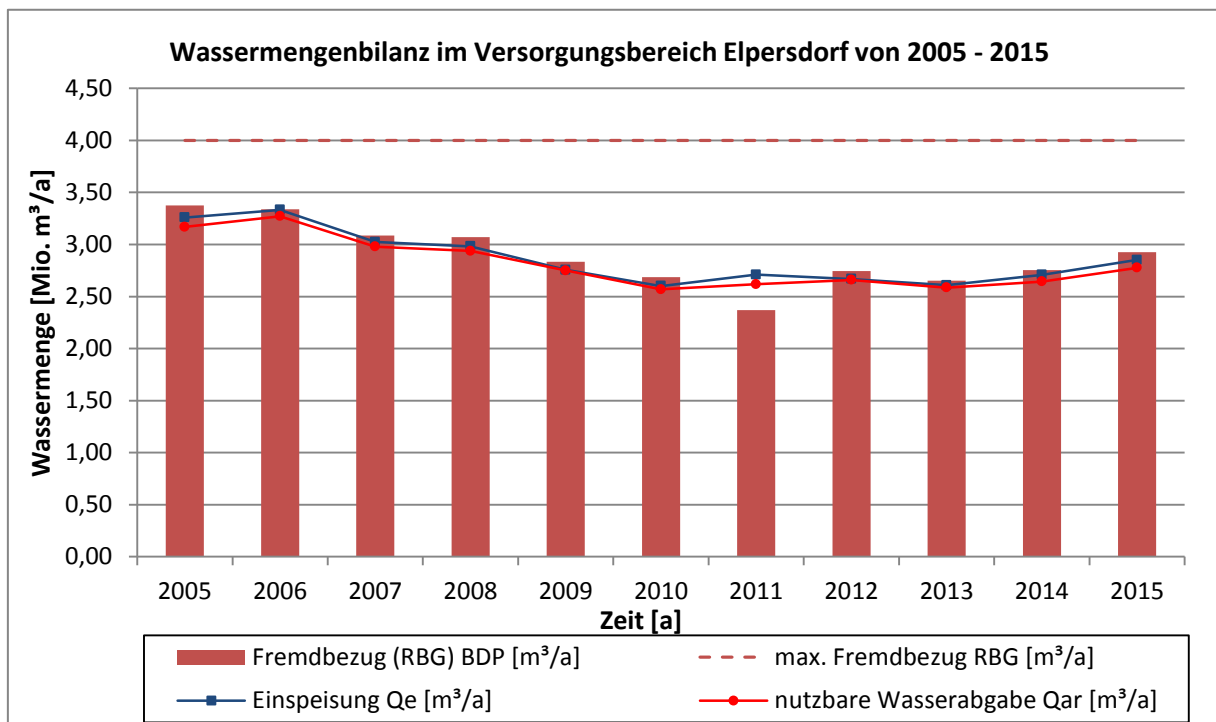


Abbildung 52: Wassermengenbilanz VB Elpersdorf (Eigene Darstellung)

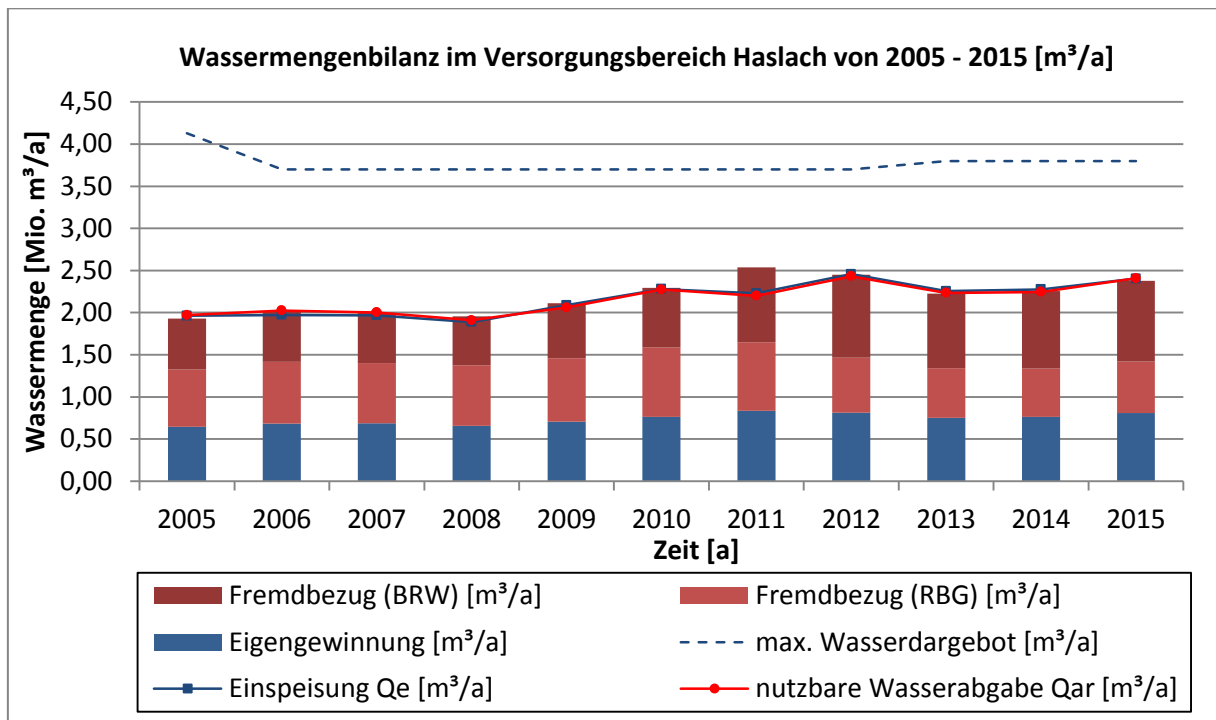


Abbildung 53: Wassermengenbilanz VB Haslach (Eigene Darstellung)

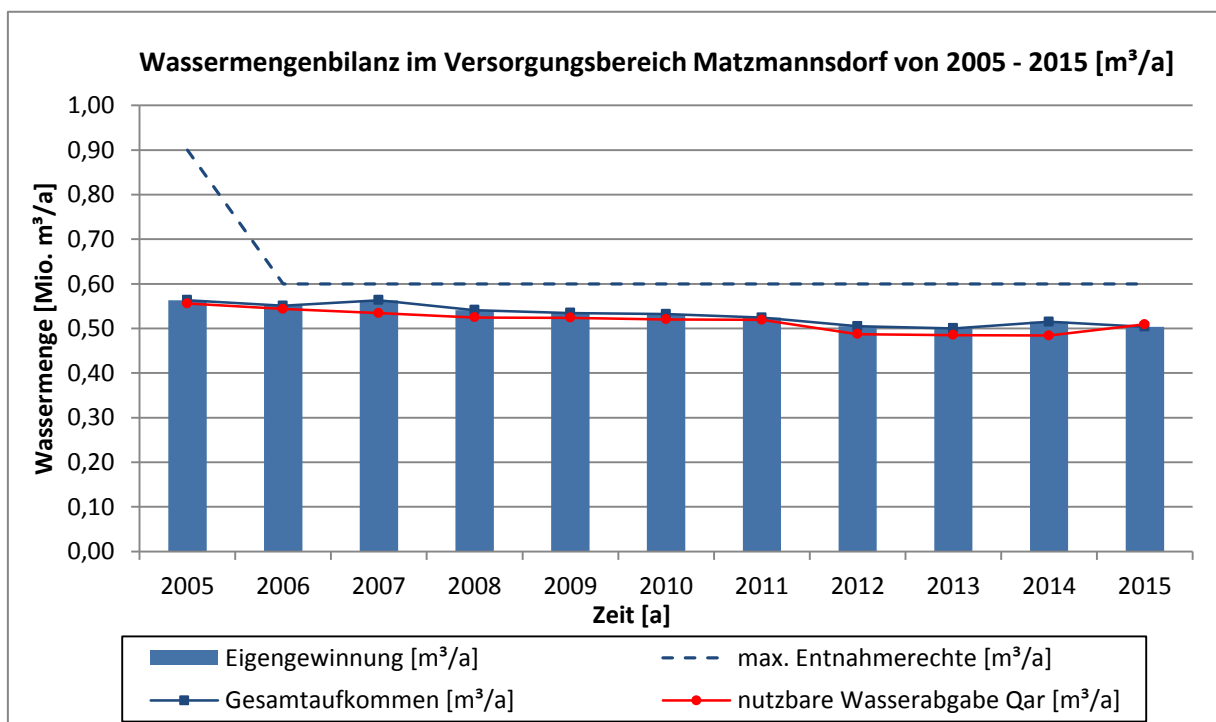


Abbildung 54: Wassermengenbilanz VB Matzmansdorf (Eigene Darstellung)

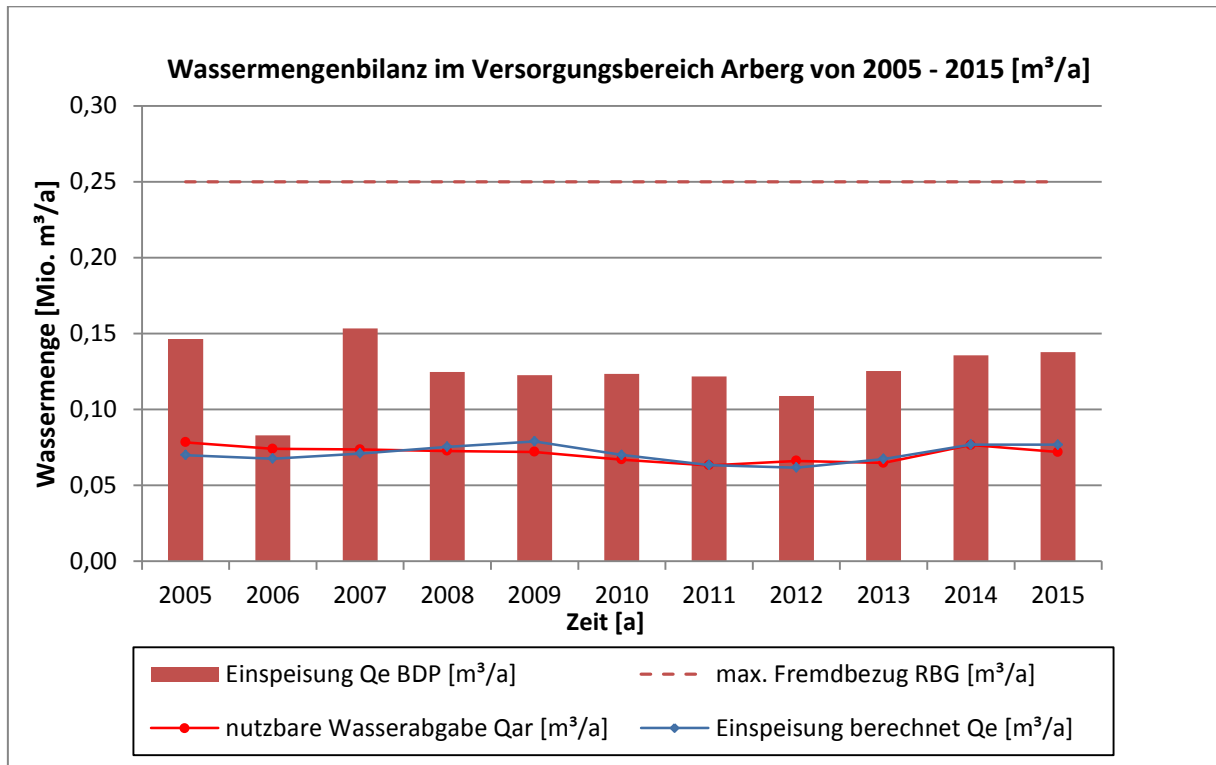


Abbildung 55: Wassermengenbilanz VB Arberg (Eigene Darstellung)

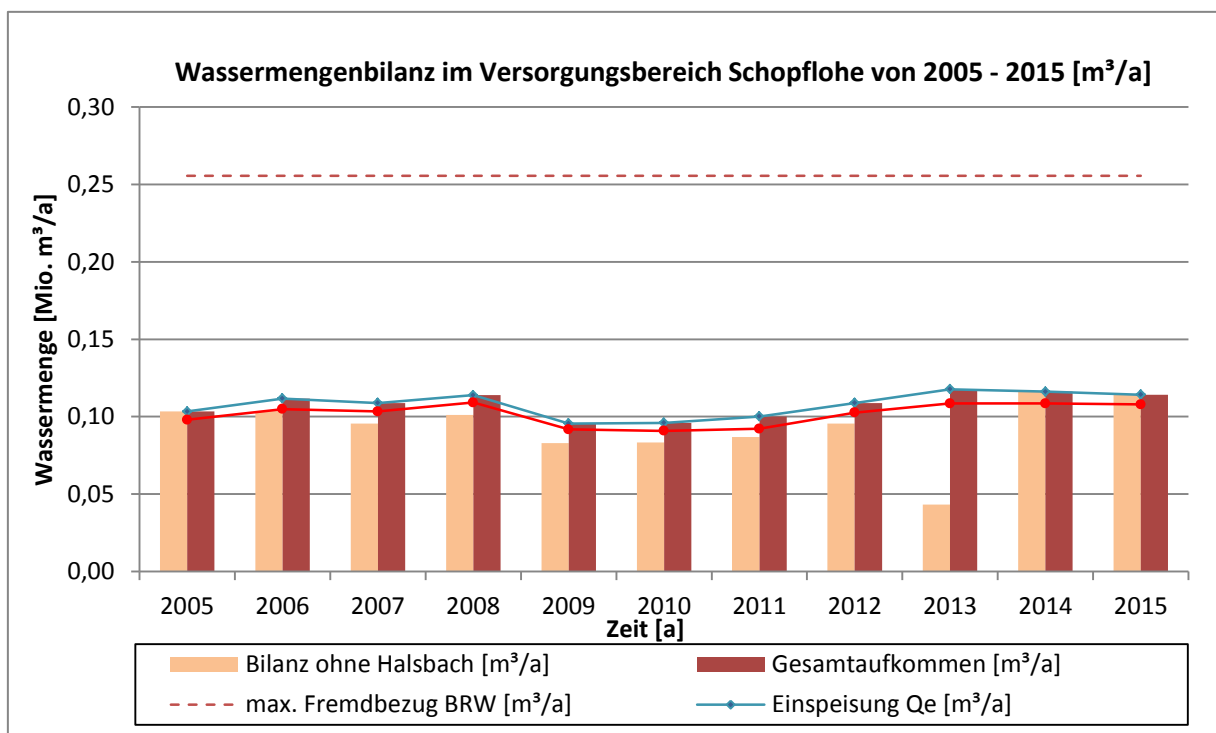


Abbildung 56: Wassermengenbilanz VB Schopflohe (Eigene Darstellung)

ANHANG B ERGEBNISSE DER WASSERBEDARFSPROGNOSE

Ist aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht in der veröffentlichten Version enthalten.

ANHANG C ERGEBNISSE DES KENNZAHLENVERGLEICHS

Ist aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht in der veröffentlichten Version enthalten.

ANHANG D ERGEBNISSE DER RISIKOBEWERTUNG

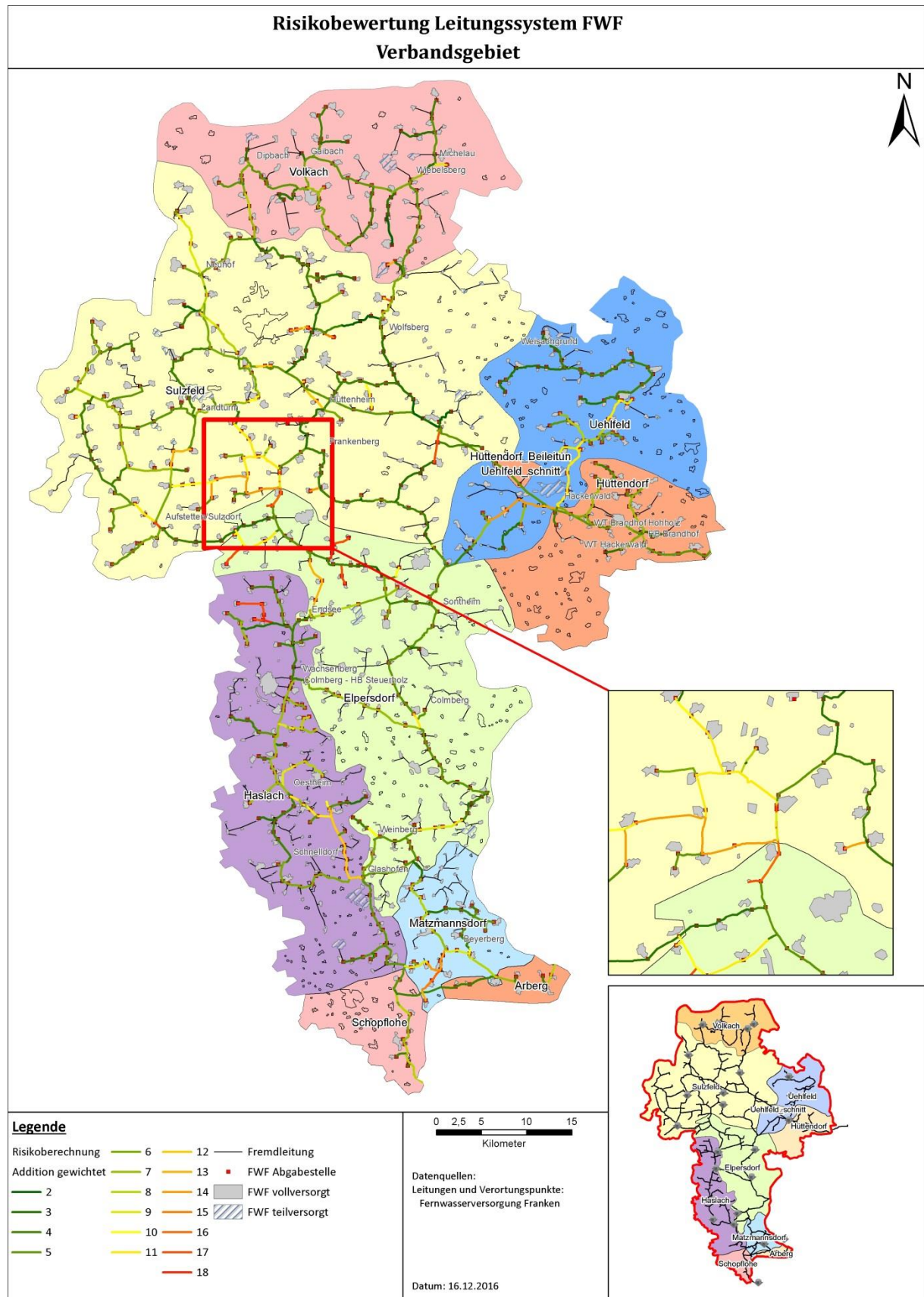


Abbildung 57: Risikobewertung Verbandsgebiet FWF (Eigene Darstellung)

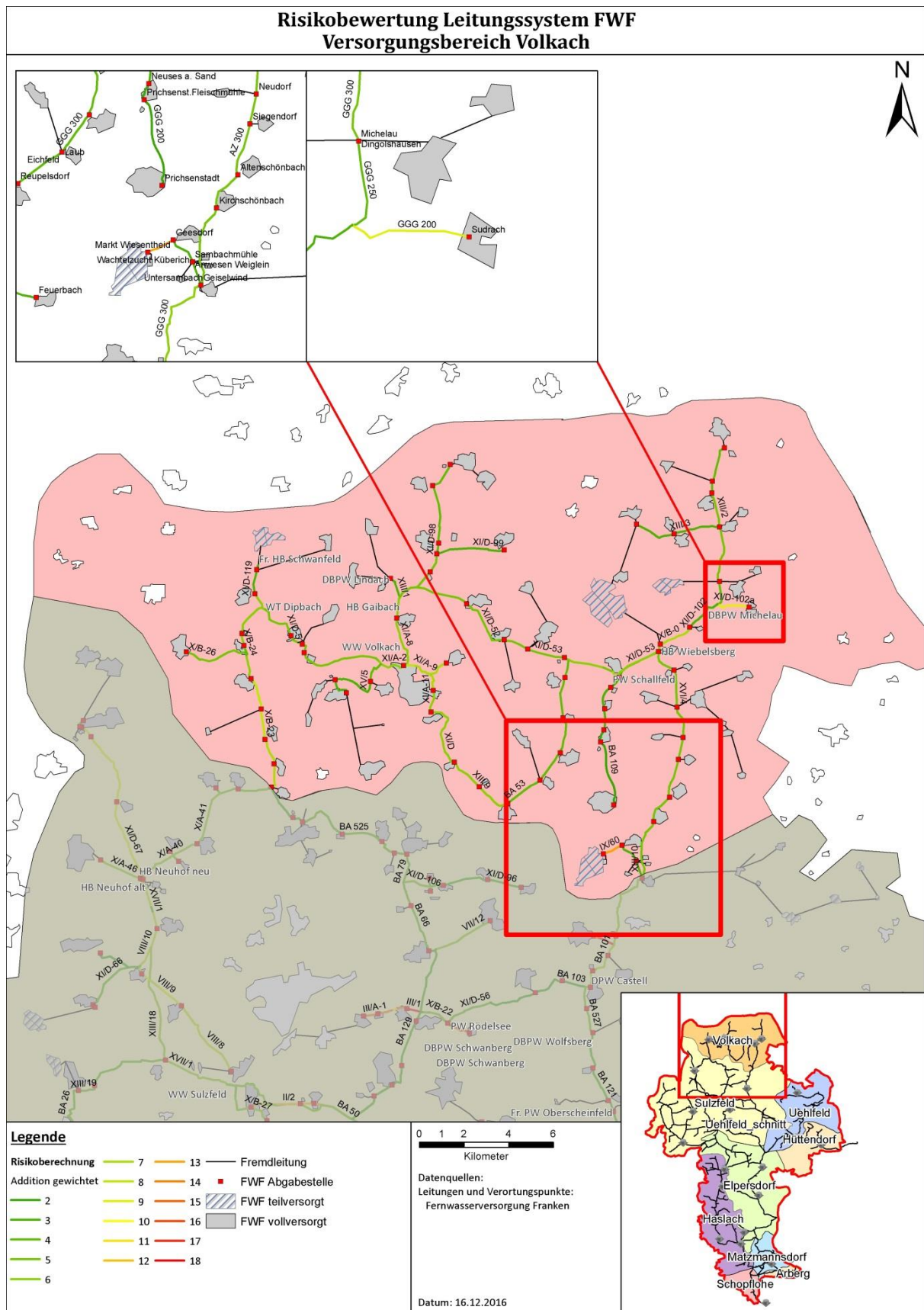


Abbildung 58: Risikobewertung VB Volkach (Eigene Darstellung)

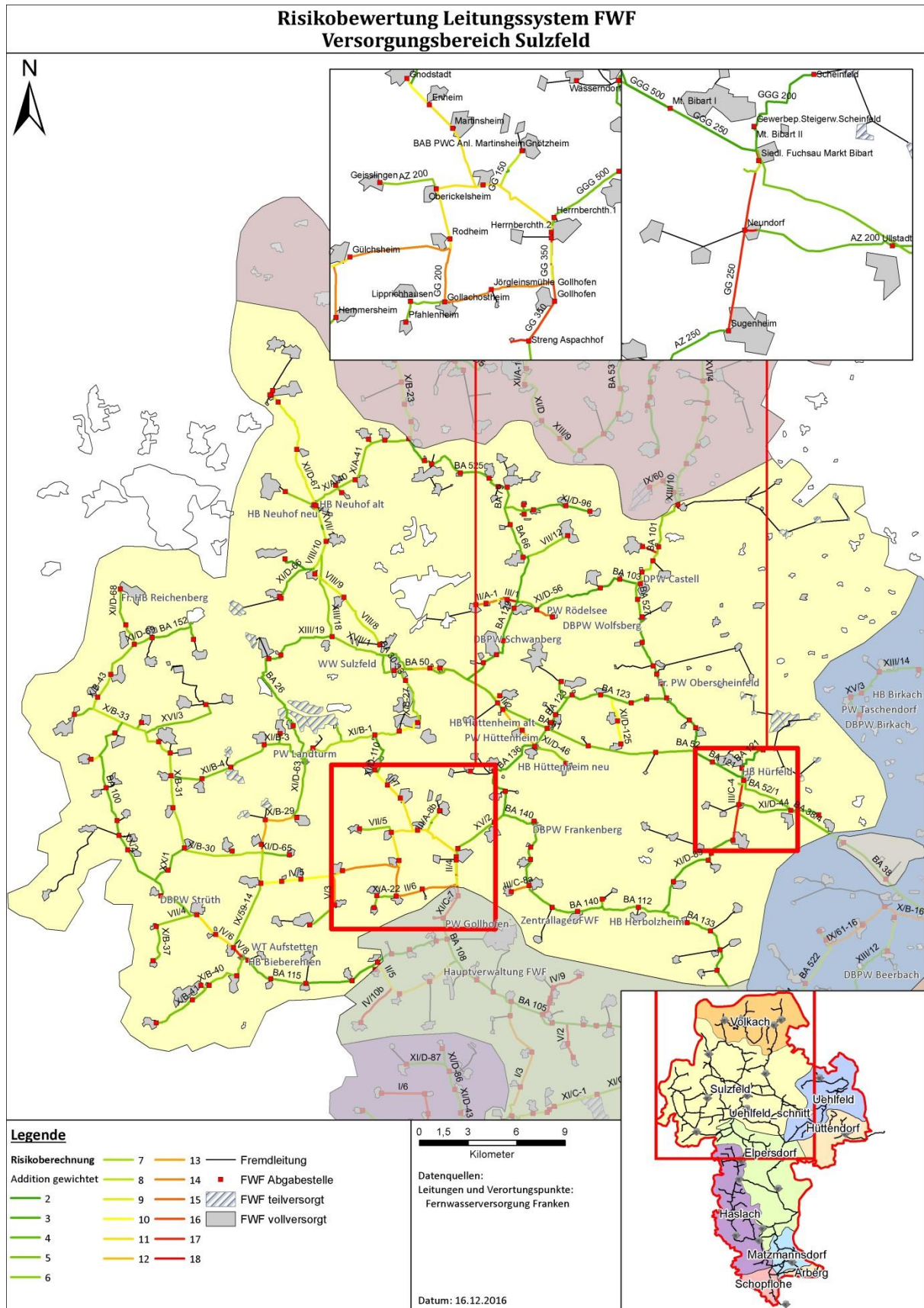


Abbildung 59: Risikobewertung VB Sulzfeld (Eigene Darstellung)

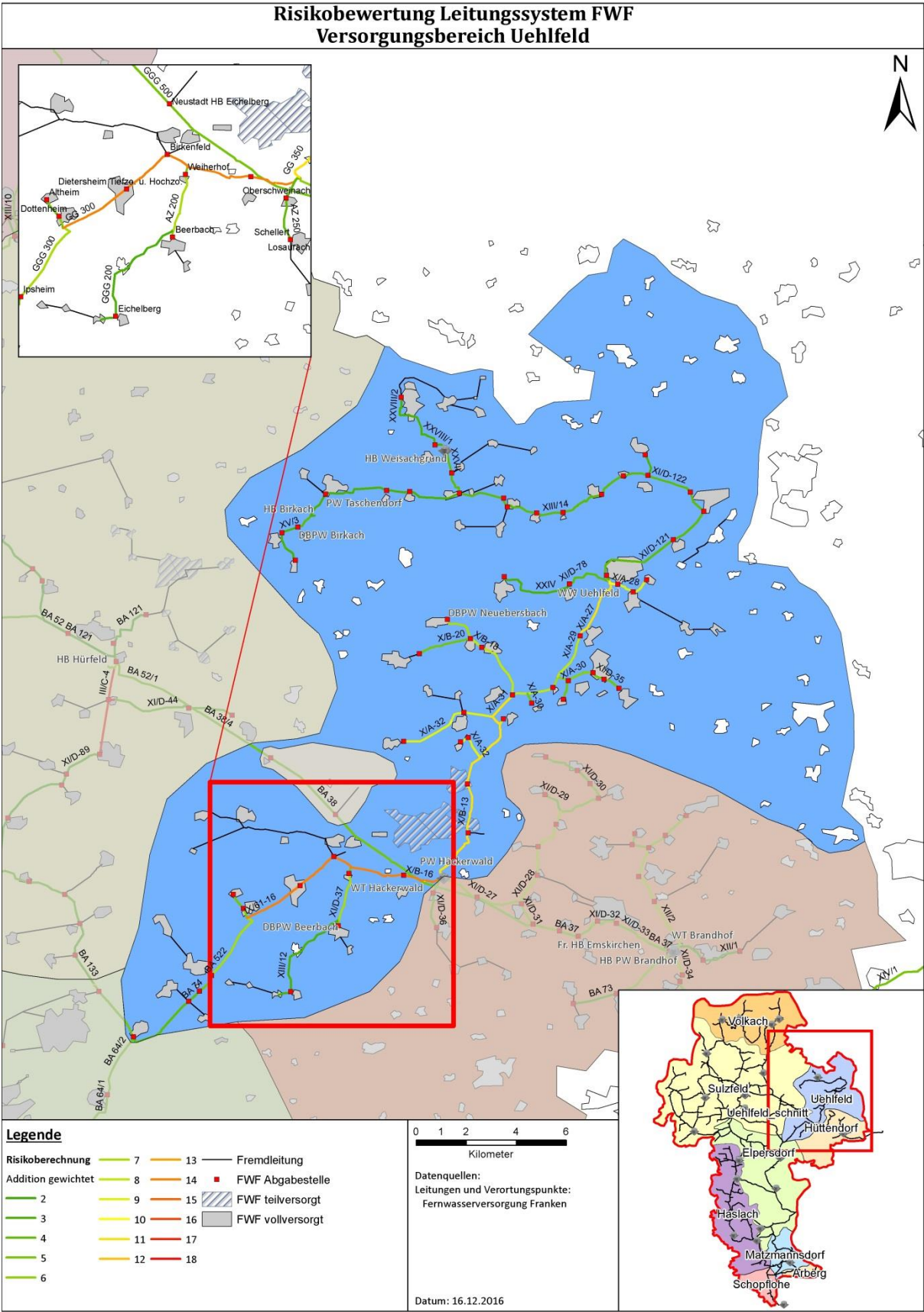


Abbildung 60: Risikobewertung VB Uehlfeld (Eigene Darstellung)

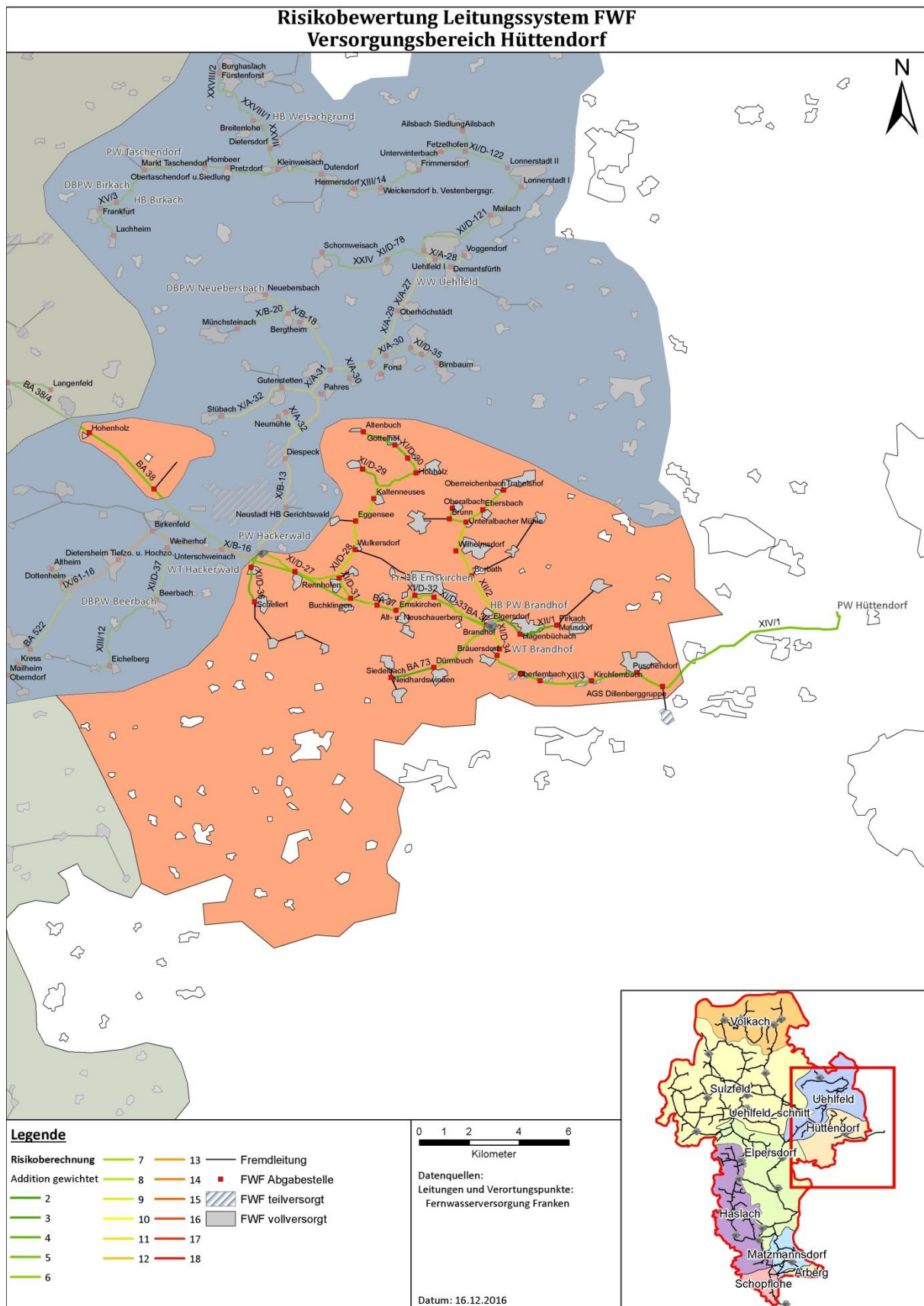


Abbildung 61: Risikobewertung VB Hüttendorf (Eigene Darstellung)

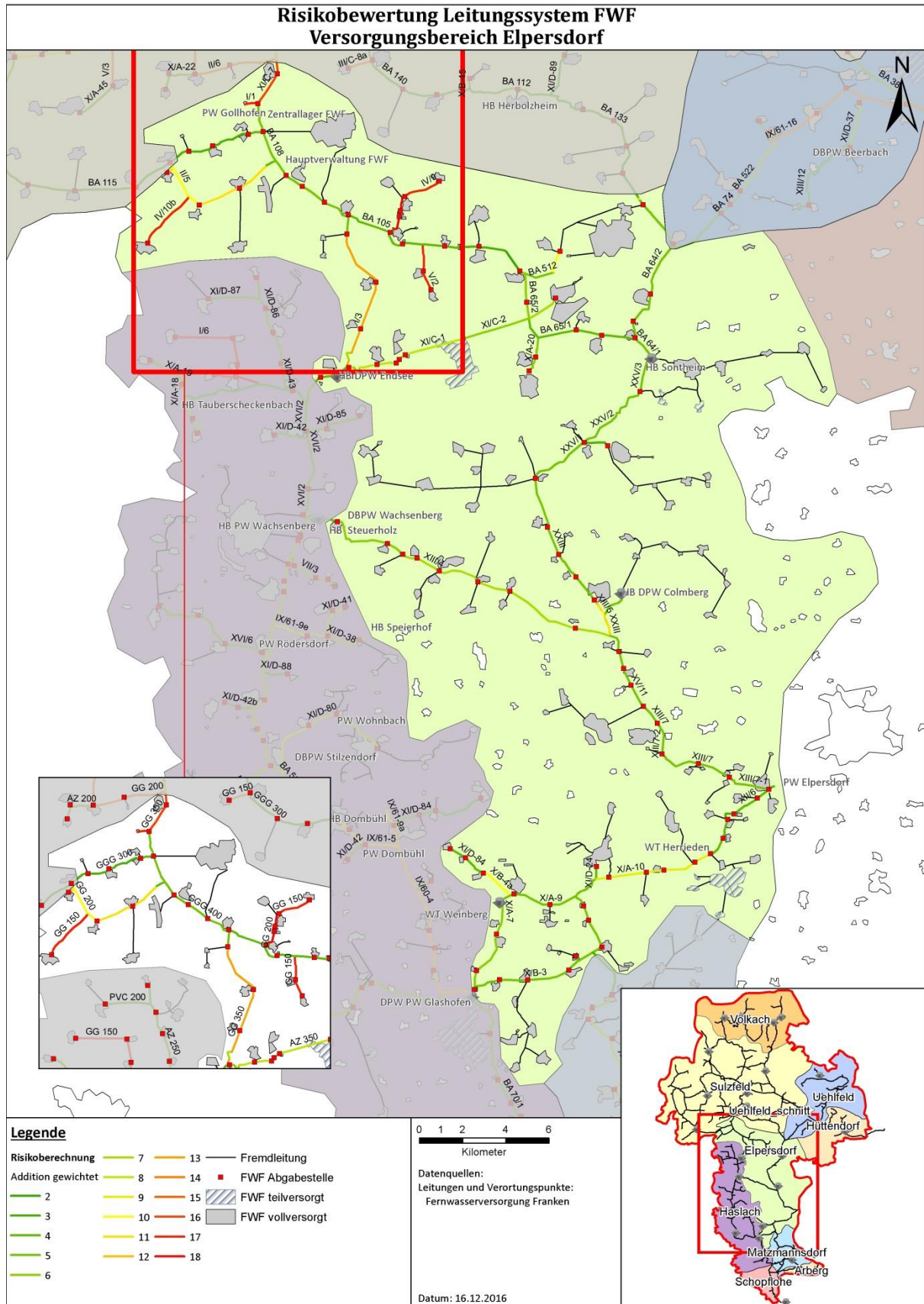


Abbildung 62: Risikobewertung VB Elpersdorf (Eigene Darstellung)

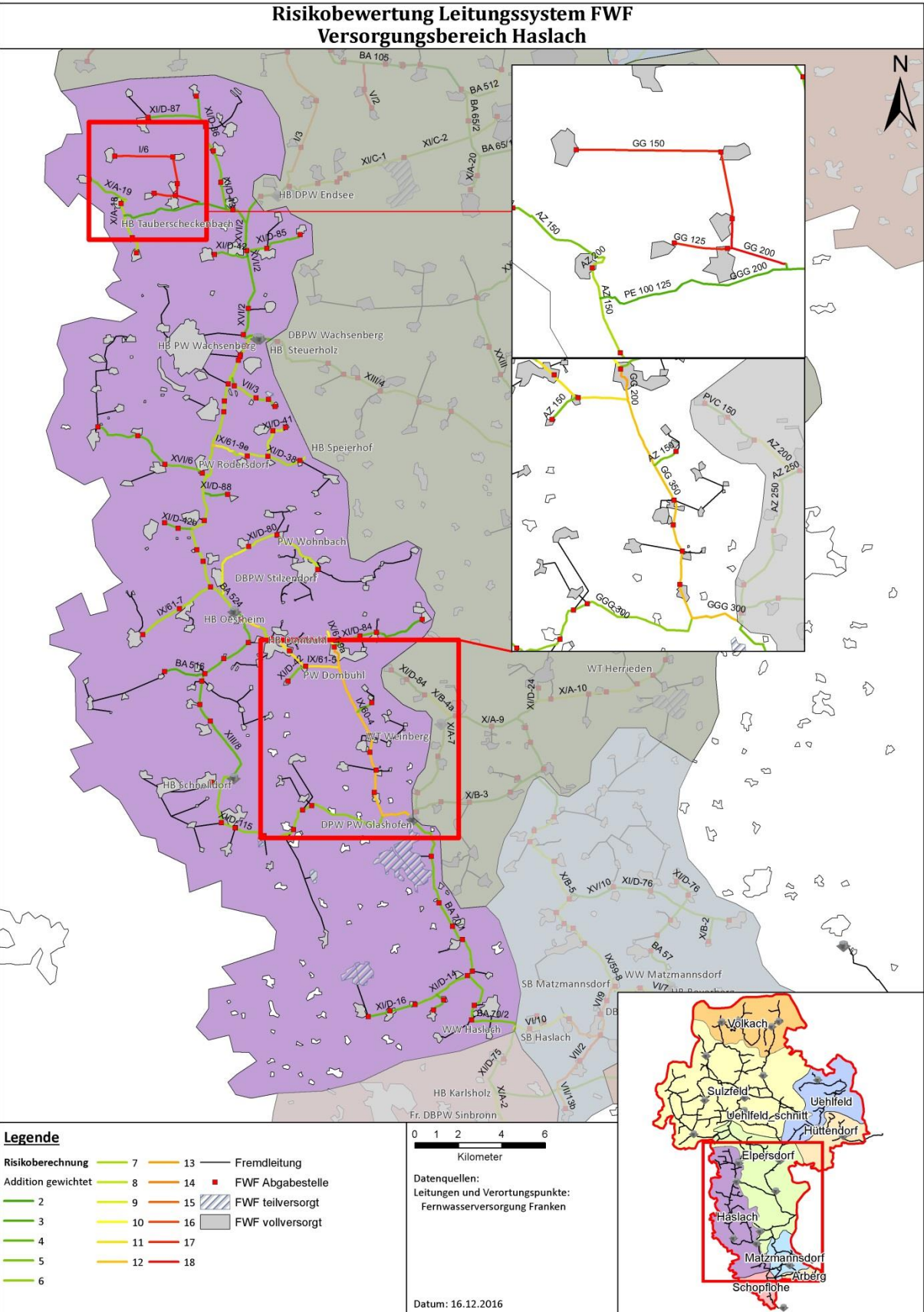


Abbildung 63: Risikobewertung VB Haslach (Eigene Darstellung)

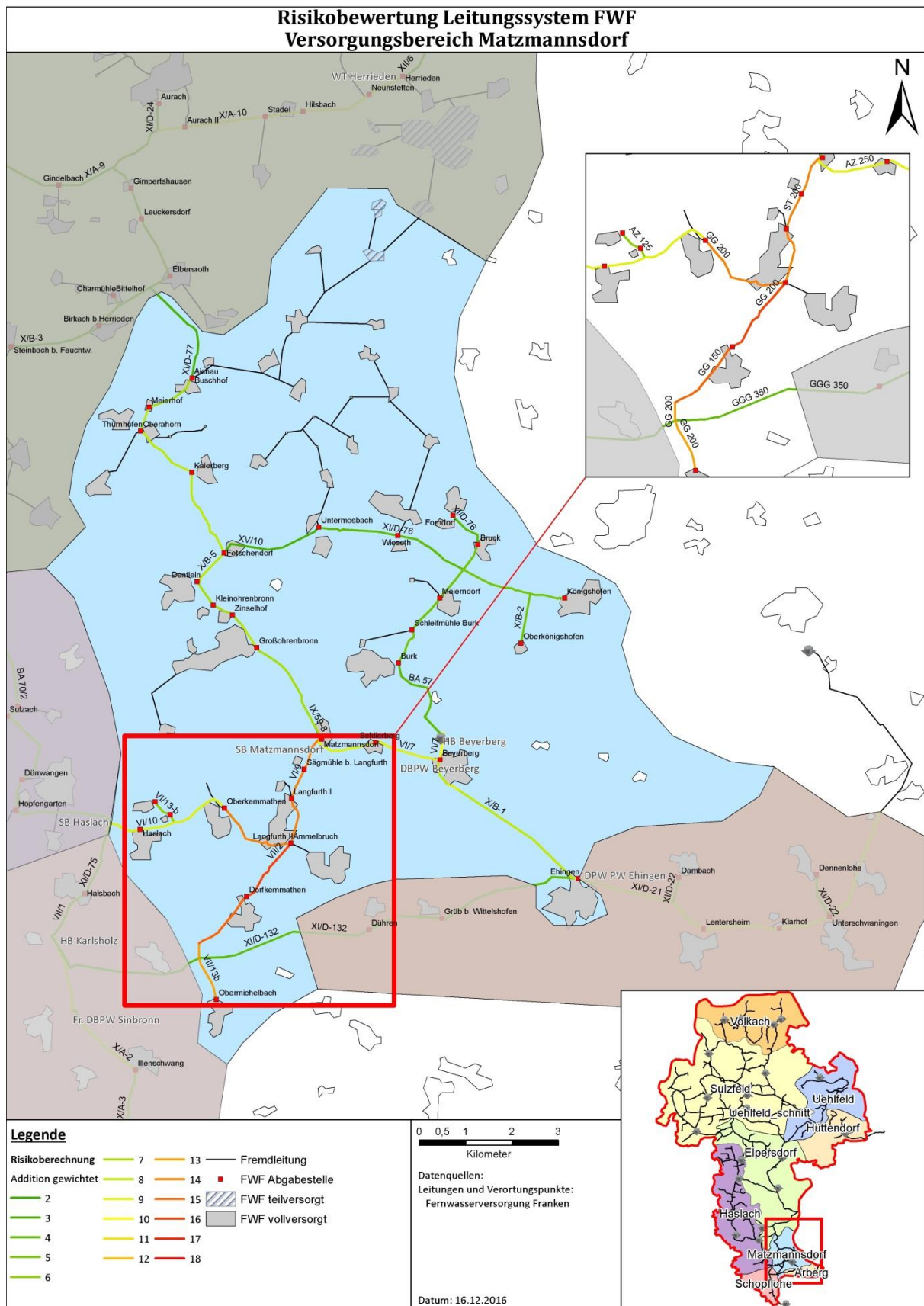


Abbildung 64: Risikobewertung VB Matzmansdorf (Eigene Darstellung)

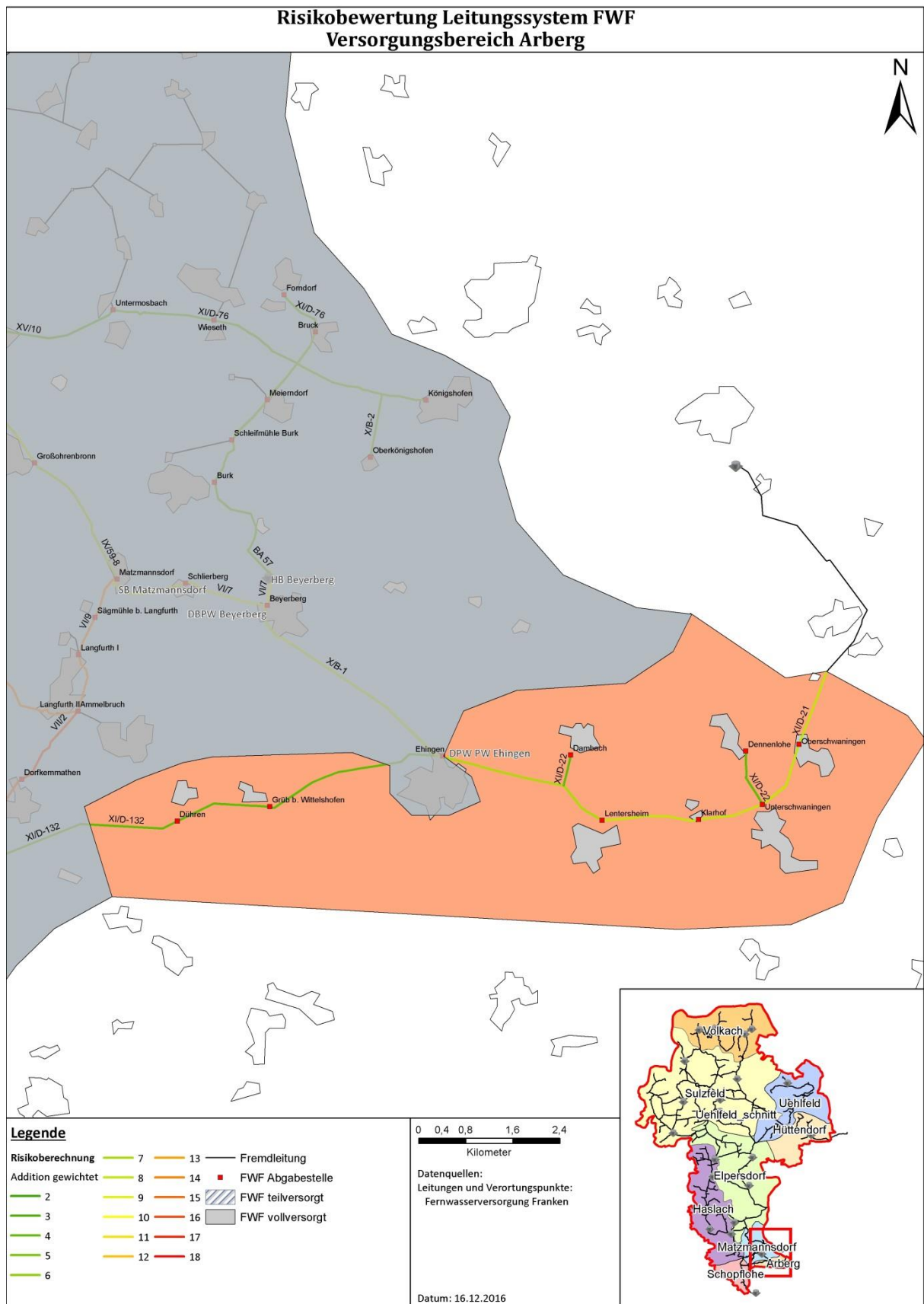


Abbildung 65: Risikobewertung VB Arberg (Eigene Darstellung)

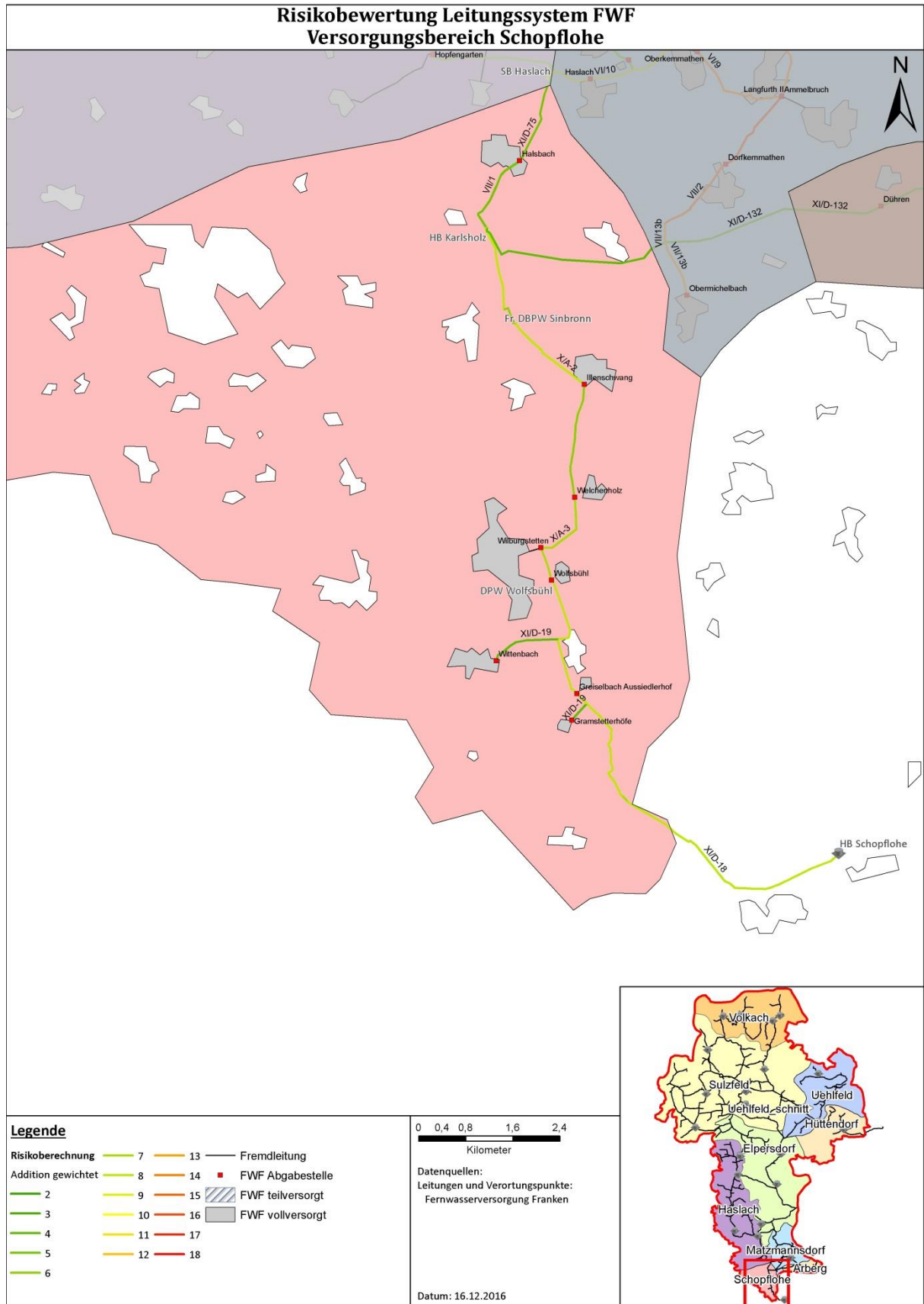


Abbildung 66: Risikobewertung VB Schopflohe (Eigene Darstellung)

Mengengerüst - Risikobewertung**Tabelle 29: Risikobewertung - Mengengerüst für Versorgungsbereiche**

| VB/Risiko [m] | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | Summe |
|---------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|----------------|
| Volkach | | | | | | 936 | | | | 1.486 | 3.411 | 8.283 | 20.467 | 36.888 | 16.933 | 21.444 | 3.615 | 113.462 |
| Sulzfeld | 921 | 7.357 | 275 | 1.154 | 14.152 | 5.671 | 9.152 | 14.571 | 10.430 | 12.299 | 12.269 | 32.184 | 46.593 | 84.943 | 91.955 | 51.335 | 12.982 | 408.245 |
| Uehlfeld | | | | | 9.042 | | 4 | 11.761 | 532 | 6.913 | 6.623 | 6.917 | 2.079 | 19.093 | 26.413 | 21.182 | | 110.561 |
| Hüttendorf | | | | | | | | | | | 136 | 10.684 | 15.965 | 30.421 | 4.502 | 4.864 | | 66.571 |
| Elpersdorf | 1.737 | 7.529 | 2.244 | | 5 | 6.607 | 216 | 5.451 | 5.020 | 5.625 | 5.296 | 12.957 | 17.309 | 65.153 | 22.181 | 6.956 | 1.163 | 165.450 |
| Haslach | 1.597 | 5.015 | | | | 647 | 9.500 | 4.909 | 825 | 4.183 | 7.461 | 26.130 | 14.584 | 24.367 | 42.304 | 11.062 | 267 | 152.851 |
| Matzmannsdorf | | | 1.535 | 1.482 | 4.379 | 1.305 | | | 1.195 | 6.074 | 9.363 | 5.309 | 628 | 8.915 | 12.365 | 4.723 | | 57.273 |
| Arberg | | | | | | | | | | | 5.347 | 2.766 | | | 4.269 | | | 12.381 |
| Schopflohe | | | | | | | | | | | 11.815 | 1.991 | 2.322 | 4.529 | 5.006 | | | 25.663 |
| Summe | 4.255 | 19.901 | 4.054 | 2.637 | 27.578 | 15.166 | 18.872 | 36.692 | 18.002 | 36.581 | 61.719 | 107.221 | 119.947 | 274.310 | 225.927 | 121.566 | 18.027 | 1.112.456 |

Tabelle 30: Auszug Risikobewertung - Auswertung nach Risiko, Querschnitt und Werkstoff

| Zeilenbeschriftungen | AZ | GG 3a | GG 3b | GGG 1 | GGG 2a | GGG 2b | PE 100 | PVC | ST | ST | Summe |
|----------------------|----|---------------|--------------|-------|--------|--------|--------|-----|-----|------------|---------------|
| 18 | | 4.233 | | | | | | | | | 4.233 |
| 200 | | 4.233 | | | | | | | | | 4.233 |
| 17 | | 17.865 | 1.857 | | | | | | | 200 | 19.923 |
| 100 | | 618 | | | | | | | | | 618 |
| 125 | | 994 | | | | | | | | | 994 |
| 150 | | 11.745 | | | | | | | | | 11.745 |
| 200 | | 213 | | | | | | | | | 213 |
| 250 | | 4.273 | | | | | | | | | 4.474 |
| 350 | | | 1.857 | | | | | | 200 | | 1.857 |
| 50 | | 22 | | | | | | | | | 22 |
| 16 | | 1.535 | 2.520 | | | | | | | | 4.054 |
| 200 | | 1.535 | 1 | | | | | | | | 1.536 |
| 350 | | | 2.518 | | | | | | | | 2.518 |

DANKSAGUNG

Mit der Anfertigung meiner Masterarbeit an einem praxisrelevanten Thema mitwirken zu können, war für mich eine große Bereicherung und hat mich stets motiviert. Als erstes spreche ich meinen Dank an Herrn Löhner aus, der mir die Gelegenheit bot meine Abschlussarbeit in Kooperation mit der Fernwasserversorgung Franken auszuarbeiten. Die fachlichen Ratschläge, ertragreichen Diskussionen, vielen Impulse und Ideen waren eine große Unterstützung und haben zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Das Vertrauen und die damit entgegengebrachte Wertschätzung haben stets die Freude und das Interesse an der Arbeit aufrecht gehalten, so dass die Zeit in der FWF sehr kurzweilig erschien.

Bei Herrn Rautenberg und Herrn Seidel bedanke ich mich recht herzlich für Ihre Zeit und vor allem die Unterstützung zu technischen Fragen. Die guten Ratschläge aus langjährigen Erfahrungen im Unternehmen und in der Wasserversorgung lassen sich nicht so einfach durch Bücher ersetzen. Ein großer Dank geht ebenfalls an Frau Ruck, die mich bezüglich aller Fragen zu Geoinformationssystemen, bei Archivrecherchen, Datenbeschaffung und -aufbereitung unterstützt hat. Vielen Dank für die Geduld und Ihr Engagement. Für die allzeit freundliche Art und Ihre Unterstützung danke ich allen Kolleg_innen der Fernwasserversorgung Franken.

Herrn Prof. Urban danke ich für die Betreuung seitens der Universität, sowie dessen Motivation und Anregung zur Zwischenpräsentation. Seine Unterstützung und die reibungslose Kooperation mit der FWF haben zum Erfolg der Arbeit beigetragen. In diesem Zusammenhang bedanke ich mich ebenso bei Frau Beck, die meine Arbeit seitens der TU-Darmstadt betreut hat, für alle offenen Fragen und v.a. organisatorische Anliegen für mich da war.

Des Weiteren danke ich Herr Dr. Sorge vom IWW, der mir bei Fragen zur Rohrleitungsbewertung zur Seite stand.

Nicht nur für die Wasserversorgung sondern auch für die herzliche Aufnahme, Verpflegung und Unterkunft während meiner Zeit in Uffenheim bedanke ich mich bei der Wohngemeinschaft vom Hof Kilian. Auch wenn es abends mal später wurde, war ich stets herzlich empfangen.

Insbesondere danke ich meiner Mutter sowie Sarah, die sich bereit erklärten die Lesekorrektur vorzunehmen.

Zu guter Letzt danke ich meiner Familie und Anja, die mich stets ermutigten, mental unterstützten und immer für mich da sind.

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG UND SPERRVERMERK

Abschlussarbeit von:

Maurice Julian Matthé

Matrikelnummer: 2546274

Erklärung zur Abschlussarbeit gemäß § 23, Abs. 7 APB

Hiermit versichere ich, die vorgelegte Abschlussarbeit ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher Form oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Der Inhalt dieser Arbeit darf Dritten ohne Genehmigung der Fernwasserversorgung Franken nicht zugänglich gemacht werden.

Darmstadt, den 20.12.2016

Unterschrift